

$$\frac{Ao7}{37}$$

La giornata di studio “I Sistemi di Allevamento in Vaso con Subirrigazione a Ciclo Chiuso per le Produzioni di Serra” è stata organizzata nell’ambito dei progetti: “Tecniche innovative per la produzione orticola fuori suolo” (FUSUOTE), programma “Ricerca e sperimentazione, trasferimento e programmi a forte contenuto innovativo”, intervento 2.2, della Regione Puglia, e PRIN 2005 “Aspetti fisiologici e tecnologici della nutrizione minerale di piante ortive coltivate fuori suolo con sistemi a ciclo chiuso e ricadute sullo stato fitosanitario delle colture”, finanziato dal MIUR.

Progetto grafico e impaginazione: Angelo Signore.



Regione Puglia
Assessorato alle Risorse Agroalimentari
Servizi di Sviluppo Agricolo



Istituto di Scienze
delle
Produzioni Alimentari



Dipartimento di Scienze
delle
Produzioni Vegetali

1 sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso

*Atti della giornata di studio
Mola di Bari, 12 maggio 2006*

a cura di
Pietro Santamaria



Copyright © MMVII
ARACNE editrice S.r.l.

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

via Raffaele Garofalo, 133 A/B
00173 Roma
(06) 93781065

ISBN 978-88-548-1190-4

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: giugno 2007

Introduzione

L'idea di scrivere un libro sulla subirrigazione in vaso deriva dalla necessità di divulgare (in un certo senso "tradurre"), in un'unica soluzione, i numerosi risultati scientifici che sono stati acquisiti e pubblicati negli ultimi anni, soprattutto dal gruppo di ricercatori, tecnici e discenti che operano nell'Azienda Sperimentale "La Noria" a Mola di Bari.

Il volume - realizzato con il supporto finanziario della Regione Puglia e del MIUR, nell'ambito di due progetti di ricerca e divulgazione (1) - raccoglie sette contributi, le versioni ampliate e aggiornate delle relazioni presentate in occasione della giornata di studio "I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso per le produzioni di serra" tenutasi a Mola di Bari il 12 maggio 2006.

La principale risultanza che emerge dalla lettura del libro è l'efficacia dei sistemi di coltivazione senza suolo a ciclo chiuso che prevedono la distribuzione della soluzione nutritiva per subirrigazione nel migliorare la qualità del processo produttivo. Infatti, i sette interventi indicano come sia possibile salvaguardare e migliorare le condizioni dell'ambiente, utilizzare in modo accorto e razionale le risorse e semplificare la gestione delle coltivazioni senza suolo.

In un periodo caratterizzato da minacce sempre più problematiche per l'ambiente, quali la diminuzione della disponibilità di acqua e l'inquinamento dei corpi idrici, ci è sembrato opportuno raccogliere in un unico volume il punto di vista di alcuni dei più impegnati ricercatori che si occupano di coltivazioni ortofloricole in ambiente protetto, in generale, e di subirrigazione in vaso, in particolare. In definitiva, il volume rimarca i vantaggi dei sistemi di coltivazione che prevedono la subirrigazione, perché nella gestione della risorsa idrica e dei fertilizzanti questi sistemi adottano misure necessarie all'eliminazione degli sprechi ed alla riduzione dei consumi, incrementandone il riciclo ed il riutilizzo.

Pietro SANTAMARIA

(1) Progetto di ricerca e divulgazione "Tecniche innovative per la produzione orticola fuori suolo" (**FUSUOTE**) - programma "Ricerca e sperimentazione, trasferimento e programmi a forte contenuto innovativo", intervento 2.2, della Regione Puglia. Progetto di ricerca di rilevante interesse nazionale (**PRIN 2005**) "Aspetti fisiologici e tecnologici della nutrizione minerale di piante ortive coltivate fuori suolo con sistemi a ciclo chiuso e ricadute sullo stato fitosanitario delle colture", finanziato dal MIUR.

Il ciclo da chiudere

Pietro SANTAMARIA

Premessa

Per le produzioni vegetali, i sistemi di coltivazione senza suolo vengono utilizzati normalmente per: 1) l'insospitalità del terreno (per stanchezza, fitopatie o salinizzazione secondaria causata dall'eccessivo impiego di fertilizzanti); 2) controllare in modo più puntuale le condizioni di crescita delle piante (ad esempio, temperatura e aerazione della zona radicale, distribuzione ottimale di acqua e nutrienti, profilo di qualità dei prodotti, ecc.); 3) ridurre l'incidenza della manodopera; 4) raggiungere la 'qualità totale', intesa come miglioramento della qualità sia del prodotto sia del processo produttivo (Santamaria e Valenzano, 2001).



Foto 1 - Raccolta del surplus di soluzione nutritiva all'esterno di un complesso di serre olandesi.

Ciò nonostante, la sostenibilità ambientale del "senza suolo" è messa in discussione nei sistemi a "ciclo aperto", in cui gli eccessi

di soluzione nutritiva distribuita alle piante (il surplus che fuoriesce dai contenitori in cui la pianta è allevata) vengono scaricati sul suolo, con notevole impatto sull'ambiente (Foto 1).

Alcuni Autori riportano che la quantità di soluzione nutritiva scaricata in un anno in diverse condizioni climatiche varia tra 2.000 e 3.000 m³/ha, con perdite di fertilizzanti fino a 8 t/ha (Jeannequin e Fabre, 1993; van Os, 1999; Santamaria *et al.*, 2005). Ad esempio, in una coltura di cetriolo allevata in vaso, gestita con ciclo aperto, da aprile a luglio, sono stati distribuiti 5.500 m³/ha di acqua e 10,5 t/ha di nutrienti (1,1 t/ha di N) e sono stati persi per lisciviazione 1.100 m³/ha di soluzione nutritiva (Santamaria *et al.*, 2001).

Al di là di vantaggi e svantaggi agronomici dei sistemi di coltivazione senza suolo a ciclo chiuso (in cui il *surplus* di soluzione nutritiva viene recuperato e contemporaneamente rimesso nei moduli di coltivazione) e del ciclo aperto (si veda ad esempio Santamaria e Signore (2004), Santamaria *et al.* (2005) o la rassegna di De Pascale *et al.* (2006) sulla sostenibilità delle colture protette in ambiente mediterraneo), in questo capitolo sarà discussa la compatibilità ambientale dei sistemi aperti allo scopo di dimostrare l'ineludibilità della chiusura del ciclo di produzione nei sistemi di coltivazione senza suolo.

Lo scarico dei reflui

E' possibile scaricare sul suolo le acque reflue (il *surplus* di soluzione nutritiva) ricche di elementi inquinanti (N e P su tutti) che fuoriescono dai sistemi di coltivazione senza suolo?

Non esistendo una legge specifica, prenderemo come riferimento il decreto legislativo n. 152/2006 (il Testo unico sull'ambiente) che reca "Norme in materia ambientale" ed ha come obiettivo principale "*la promozione dei livelli di qualità della vita umana, da realizzare attraverso la salvaguardia ed il miglioramento delle condizioni dell'ambiente e l'utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali*" (art. 2).

La terza parte del decreto riguarda, tra l'altro, la difesa del suolo, la tutela delle acque dall'inquinamento e la gestione delle risorse idriche. L'art. 74 fornisce la definizione di alcune delle parole contenute nella domanda a cui cerchiamo risposta: scarico e acque reflue.

Secondo la legge, per scarico si intende "*qualsiasi immissione di acque reflue in acque superficiali, sul suolo, nel sottosuolo e in rete fognaria, indipendentemente dalla loro natura inquinante, anche*

sottoposte a preventivo trattamento di depurazione". Acque reflue industriali sono considerate "qualsiasi tipo di acque reflue provenienti da edifici od installazioni in cui si svolgono attività commerciali o di produzione di beni."

Le attività di produzione di prodotti vegetali con sistemi di coltivazione senza suolo sono assimilabili più ad un processo industriale che all'agricoltura classica. La differenza di significato tra i termini agricoltura e industria possiamo desumerla da un qualsiasi dizionario di italiano. "Il nuovo Zingarelli", vocabolario della lingua italiana di Nicola Zingarelli, le definisce nel modo seguente. Agricoltura: *"coltivazione della terra, dei campi / complesso dei lavori cui viene sottoposto il suolo per ricavarne piante utili all'uomo"*. Industria: *"moderno modo di produrre merci su vasta scala, mediante macchinari mossi da energia non umana o animale, manovrati da lavoratori e richiedenti cospicui investimenti di capitale finanziario"*.

L'art. 103 ("scarichi sul suolo") del Testo unico sull'ambiente afferma che *"è vietato lo scarico sul suolo o negli strati superficiali del sottosuolo"*, fatta eccezione, per limitarci al nostro caso, *"per gli scarichi di acque reflue industriali per i quali sia accertata l'impossibilità tecnica o l'eccessiva onerosità, a fronte dei benefici ambientali conseguibili, a recapitare in corpi idrici superficiali, purché gli stessi siano conformi ai criteri ed ai valori-limite di emissione fissati a tal fine dalle Regioni"*. Gli scarichi comunque *"devono essere conformi ai limiti della tabella 4 dell'allegato 5 alla parte terza"* dello stesso decreto (tab. 1).

Tabella 1 - Limiti di emissione per acque reflue industriali che recapitano sul suolo (D. Lgs N. 152/2006).

Sostanze nutritive	Limite massimo (mg/L)
Azoto totale (N)	15
Azoto ammoniacale (NH ₄)	5
Fosforo totale (P)	2
Ferro	2
Rame	0,1
Solfati (SO ₄)	500
Cloruri (Cl)	200

Inoltre, l'art. 124 afferma che *"tutti gli scarichi devono essere preventivamente autorizzati"*.

Il riutilizzo dei reflui

Al di là dell'autorizzazione, non recuperare il *surplus* di soluzione nutritiva che fuoriesce dai moduli di coltivazione nei sistemi senza suolo a ciclo aperto rappresenta anche uno spreco di risorse. L'art. 98 del Testo unico sull'ambiente prevede che *"coloro che gestiscono o utilizzano la risorsa idrica adottano le misure necessarie all'eliminazione degli sprechi ed alla riduzione dei consumi e ad incrementare il riciclo ed il riutilizzo, anche mediante l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili."* Per il riutilizzo dell'acqua, *"il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio con proprio decreto, sentiti i Ministri delle politiche agricole e forestali, della salute e delle attività produttive, detta le norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue"*, mentre *"le Regioni, (...) adottano norme e misure volte a favorire il riciclo dell'acqua e il riutilizzo delle acque reflue depurate"* (art. 99).

Il testo unico per l'ambiente definisce per utilizzazione agronomica: *"la gestione di effluenti di allevamento, acque di vegetazione residue dalla lavorazione delle olive, acque reflue provenienti da aziende agricole e piccole aziende agro-alimentari, dalla loro produzione fino all'applicazione al terreno ovvero al loro utilizzo irriguo o fertirriguo, finalizzati all'utilizzo delle sostanze nutritive e ammendanti nei medesimi contenute."* (art. 74).

Tabella 2 - Valori limite di alcune caratteristiche delle acque reflue all'uscita dell'impianto di recupero per il riutilizzo (D.M. N. 185/2003).

Caratteristica	Unità di misura	Valore limite*
CE	μS/cm	4000
Azoto totale (N)	mg/L	35
Azoto ammoniacale (NH ₄)	mg/L	2
Fosforo totale (P)	mg/L	10
Ferro	mg/L	2
Rame	mg/L	1
Solfati (SO ₄)	mg/L	500
Cloruri (Cl)	mg/L	250

* In neretto i valori che si discostano da quelli riportati in tabella 1.

Il D.M. del 12 giugno 2003 n. 185 reca "Norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue" e prevede che *"il riutilizzo deve avvenire in condizioni di sicurezza ambientale, evitando alterazioni*

agli ecosistemi, al suolo ed alle colture, nonché rischi igienico-sanitari per la popolazione esposta e comunque nel rispetto delle vigenti disposizioni in materia di sanità e sicurezza e delle regole di buona prassi industriale e agricola". Per il riutilizzo, questo decreto (ma non il D. Lgs 152/2006) indica valori limite delle acque reflue all'uscita dell'impianto di recupero (tab. 2), in alcuni casi diversi da quelli riportati in tabella 1.

Il recupero e il riutilizzo delle soluzioni nutritive negli impianti di coltivazione senza suolo a ciclo chiuso aumenta l'efficienza d'uso dell'acqua (De Pascale *et al.*, 2006), inoltre il riutilizzo delle acque reflue nei sistemi di coltivazione senza suolo, al pari delle acque reflue urbane depurate (si veda Megale, 2004), preserva le risorse idriche e difende la qualità delle stesse e dell'ambiente, riducendo l'impatto degli scarichi.

La direttiva nitrati

Lo scarico sul suolo di soluzioni nutritive ricche di N può provocare l'inquinamento dei corpi idrici in contrasto con la direttiva 91/676/CEE del 12 dicembre 1991 relativa alla "protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole" (direttiva nitrati). Proprio in considerazione del fatto che i nitrati di origine agricola sono la causa principale dell'inquinamento proveniente da fonti diffuse, per tutelare la salute umana, le risorse viventi e gli ecosistemi acquatici e per salvaguardare altri usi legittimi dell'acqua, la direttiva nitrati evidenzia che è necessario ridurre l'inquinamento idrico causato o provocato da nitrati provenienti da fonti agricole ed impedire un ulteriore inquinamento di questo tipo.

La direttiva 91 prevede in ogni Stato (ed in ogni Regione) l'individuazione delle zone vulnerabili: *"zone di territorio che scaricano direttamente o indirettamente composti azotati di origine agricola o zootecnica in acque già inquinate o che potrebbero esserlo in conseguenza di tali tipi di scarichi"*. (art. 74 D. Lgs n. 152/06). In quest'ottica, nel definire le zone vulnerabili, la Regione Puglia ha prima individuato le aree con colture impattanti (*"zone del territorio in cui l'uso agricolo del suolo è destinato a colture particolarmente impattanti sia rispetto al rischio nitrati che in relazione al rischio fitofarmaci"*), inserendo tra esse le colture in serra.

Complessivamente, in Puglia, con la deliberazione della giunta regionale del 30 dicembre 2005 n. 2036, sono state definite 9 zone vulnerabili (Lesina, Carpino, San Severo, Foggia, Cerignola,

Trinitapoli, Andria, Terlizzi e Arco Ionico) che interessano 92.057 ha, circa il 10% della SAU regionale. Di questi, 1.324 ha ricadono nell'agro di Terlizzi (foto 2), in provincia di Bari, la zona più importante della Regione per le colture di serra.

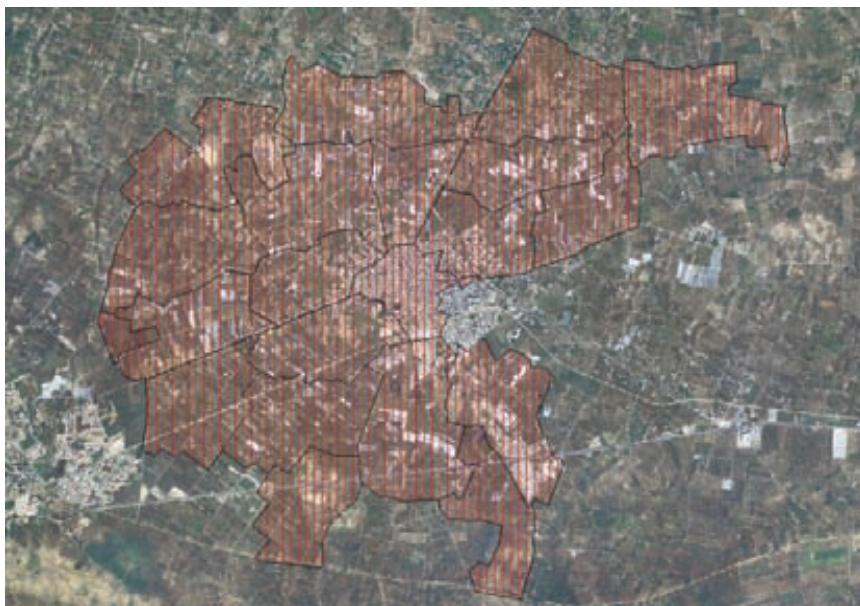


Foto 2 - Perimetrazione della zona vulnerabile di Terlizzi in provincia di Bari.

In alcune delle zone vulnerabili individuate in Puglia, i composti azotati che hanno provocato l'inquinamento della falda non sono di origine agricola o zootecnica; provengono invece da depuratori o comunque da fonti urbane. Per Terlizzi però i "sospetti" ricadono essenzialmente sulle coltivazioni senza suolo a ciclo aperto che lì vengono praticate.

In Olanda, dove le coltivazioni senza suolo sono diffuse su oltre 10.000 ha, tutto il territorio nazionale è stato dichiarato zona vulnerabile e la legge impone l'impiego di sistemi di coltivazione senza suolo a ciclo chiuso. Il legislatore olandese ha fissato due parametri guida per regolamentare l'allontanamento di soluzioni nutritive esauste dai sistemi di coltivazione senza suolo (tab. 3): uno esprime l'incompatibilità agronomica della soluzione nutritiva con la produzione della coltura (la concentrazione del sodio accumulatosi nella soluzione nutritiva), l'altro salvaguarda la

risorsa idrica nel contesto socio-economico olandese (il volume irriguo che può essere utilizzato ogni anno).

Tabella 3 - Concentrazione minima di sodio che deve essere raggiunta nei sistemi di coltivazione a ciclo chiuso per poter scaricare la soluzione nutritiva e volume irriguo massimo ammesso in Olanda (da Stanghellini *et al.*, 2004a).

Coltura	Na (mmol/L)	Volume irriguo (mm/anno)
Anthurium, lillium, bougardia, iris	3	1140
Fragola	3	860
Lattuga	5	860
Orchidea	0	1140
Pomodoro	8	1140
Peperone, cetriolo, melanzana, melone, zucchino e fagiolino	6	1140
Rosa, gerbera, garofano, amaryllis	4	1140
Altre	5	1000

La condizionalità ambientale

La compatibilità ambientale delle coltivazioni senza suolo va valutata anche in considerazione della riforma della PAC (Reg. 1782/03) che subordina l'erogazione del pagamento unico all'applicazione della condizionalità ambientale, ossia ad un sistema di "condizioni", sul piano della gestione, i cosiddetti criteri di gestione obbligatori (CGO, tra cui la direttiva nitrati e la direttiva acque sotterranee) e delle pratiche agronomiche, per il mantenimento delle "buone condizioni agronomiche e ambientali (BCAA)". Il sostegno pubblico è condizionato al rispetto di standard ambientali, di sicurezza alimentare, di benessere degli animali.

Le "condizioni" mirano a garantire livelli di sostenibilità ambientale considerati minimi. Le coltivazioni senza suolo se non vengono condotte nel rispetto dei CGO possono portare a delle penalizzazioni nell'erogazione del contributo comunitario.

Le conseguenze agronomiche

Non bisogna dimenticare, inoltre, che le soluzioni nutritive reflue scaricate sul terreno apportano sali che, in serra, in assenza di precipitazioni, contribuiscono alla cosiddetta salinizzazione secondaria del terreno. Con 5.000 m³/ha di un'acqua irrigua di ottima qualità (500 mg/L di sali totali) si apportano al terreno 2,5 t/ha di sali, a cui bisogna aggiungere quelli apportati con i fertilizzanti. Con 2.000 m³/ha di soluzione nutritiva "piena forza", ad esempio la cosiddetta soluzione di Hoagland (Hoagland e Arnon, 1950), con circa 750 mg/L di elementi nutritivi, si apportano al terreno circa 1,5 t/ha di nutrienti, a cui bisogna aggiungere il contributo fornito dall'impurità dei sali disciolti e dall'acqua di partenza.

In una ricerca condotta in Puglia, dal confronto tra due sistemi di coltivazione senza suolo a ciclo chiuso e aperto, è emerso che il ciclo chiuso consente di ridurre sia l'impatto ambientale del processo produttivo sia l'impiego di risorse (tab. 4).

Tabella 4 – Acqua distribuita (input) e refluo di soluzione nutritiva (acqua e nutrienti) scaricato nell'ambiente (output) in una coltivazione di pomodoro ciclo breve realizzata con sistemi senza suolo a ciclo chiuso (NFT) e aperto (lana di roccia) – rielaborato da Valenzano (2003).

Sistema	Acqua		Output nutrienti		
	input	output	N	P	K
	(m ³ /ha)		(kg/ha)		
Ciclo chiuso (NFT)	3850	150	22	23	134
Ciclo aperto (lana di roccia)	4450	1000	155	52	302

La coltivazione senza suolo a ciclo chiuso rappresenta il sistema di produzione vegetale più efficiente in termini di uso dell'acqua, però i sistemi di coltivazione a ciclo chiuso possono essere utilizzati in due situazioni: 1) in zone con acque irrigue di buona qualità; 2) per colture che garantiscono un reddito sufficientemente alto da giustificare i costi per la raccolta dell'acqua piovana e/o per la desalinizzazione (Stanghellini *et al.*, 2004b).

Conclusioni

Alla luce di quanto è stato esposto e con i limiti dettati dall'agricoltura sostenibile, le coltivazioni senza suolo possono essere considerati sistemi di produzione vegetale compatibili con l'ambiente solo quando vengono realizzati in sistemi a ciclo chiuso.

Da qui l'imperativo del titolo di questo contributo ("Il ciclo da chiudere"), che riprende, per assonanza, il titolo del libro di Barry Commoner "Il cerchio da chiudere" apparso nel 1971 negli USA e l'anno dopo in Italia. Nell'edizione critica del testo che diede l'avvio all'ecologia politica, pubblicata nel 1986, l'Autore denuncia gli effetti negativi sull'ambiente causati da una tecnologia orientata soltanto al profitto e responsabile della "rottura" dei grandi cicli biologici naturali con l'immissione di sostanze non assimilabili e decomponibili dalla natura (Commoner, 1986). Secondo l'Autore, l'intensità degli effetti negativi sull'ambiente è proporzionale al numero di individui e alla quantità e qualità di merci e servizi prodotti secondo la seguente relazione:

$$I = P \times A \times T$$

Dove I è la quantità di inquinamento (per esempio, i chilogrammi di una sostanza scaricata nell'ambiente); P è il numero di individui (per esempio, il numero di aziende); A è la quantità annua di merci e servizi per persona o per azienda (misura il grado di ricchezza; per esempio, le tonnellate di prodotto per azienda); T è la quantità di inquinamento per unità di merce o di servizi prodotti e consumati ("fattore tecnologico"; per esempio, i chilogrammi di una sostanza scaricata nell'ambiente per ogni tonnellata di prodotto).

I sistemi di coltivazione senza suolo rappresentano l'innovazione di processo a più elevato input di tecnologia che sia stata introdotta nell'ortofloricoltura nel dopoguerra. Però solo quando vengono realizzati a ciclo chiuso i sistemi senza suolo esprimono un'ottima compatibilità fra sistema economico (produzione di beni), condizioni di lavoro e conservazione degli equilibri dei sistemi naturali, non interferendo più di tanto sulla possibilità di "chiudere il cerchio" della natura.

Bibliografia

Commoner B., 1986. Il cerchio da chiudere, Garzanti, Milano, 399 pp.

- De Pascale S., Maggio A., Barbieri G., 2006. La sostenibilità delle colture protette in ambiente mediterraneo: limiti e prospettive. *Italus Hortus*, 13 (1), 33-48.
- Jeannequin B., Fabre R., 1993. Procède de culture hors-sol a circuit fermé. Etudes et perspectives. *PHM Revue Horticole*, 338, 21-26.
- Hoagland D.R., Arnon D.I., 1938. - The water culture method for growing plants without soil. *Calif. Agric. Exp. Stn Circ.*, 347, 39 pp.
- Megale P.G., 2004. Aspetti legislativi del riuso irriguo delle acque reflue depurate in Italia. *Italus Hortus*, 11 (6), 32-38.
- Santamaria P., De Pascale S., Pardossi A., 2005. La nutrizione idrica e minerale in fuori suolo. *Italus Hortus*, 12 (6), 45-55.
- Santamaria P., Signore A., 2004. La concentrazione delle asportazioni come criterio per il controllo della nutrizione minerale in ciclo chiuso: applicazione su pomodoro 'Naomi'. In: "Innovazione tecnologica per i sistemi fuori suolo. Gestione irrigua, nutrizionale e bio-disinfezione per il fuori suolo" (a cura di E. Farina), Ace International Ed., Vernasca (PC), 33-41.
- Santamaria P., Valenzano V., 2001. La qualità degli ortaggi allevati senza suolo. *Italus Hortus*, 8 (6), 31- 38.
- Santamaria P., Valenzano V., Conversa G., Parente A., Elia A., 2001. Cetriolo senza suolo: consumo di soluzione nutritiva e produzione. *Culture protette*, 30 (1), 79-85.
- Stanghellini C., Pardossi A., Tognoni F., 2004a. Il valore dell'acqua nelle produzioni intensive: ciclo chiuso o ciclo aperto? Relazione presentata al convegno: La gestione delle risorse idriche nel florovivaismo, 2004, Pescia (PT), 12 pp.
- Stanghellini C., Pardossi A., Tognoni F., 2004b. Il valore dell'acqua nelle produzioni intensive: ciclo chiuso o ciclo aperto? *Italus Hortus*, 11 (6), 11-16.
- Valenzano V., 2003. Sistema di coltivazione, produzione e qualità del pomodoro allevato in serra. Tesi di Dottorato. Facoltà di Agraria, Università di Bari, 136 pp.
- Van Os E.A., 1999. Closed soilless growing system: a sustainable solution for Dutch greenhouse horticulture. *Wat. Sci. Tech.*, 39 (5), 105-112.

La subirrigazione delle colture in contenitore

**Francesco MONTESANO, Pietro SANTAMARIA,
Francesco SERIO, Angelo SIGNORE**

Premessa

Le coltivazioni senza suolo rappresentano una delle più rilevanti innovazioni tecnologiche introdotte nelle colture protette. Particolare attenzione suscitano i sistemi di coltivazione senza suolo a ciclo chiuso, perché sono in grado di rendere più efficiente e razionale l'uso dell'acqua e di limitare l'inquinamento ambientale provocato dai fertilizzanti (Voogt e Sonneveld, 1997).

Tuttavia, la diffusione su larga scala dei sistemi senza suolo a ciclo chiuso stenta a concretizzarsi, in particolare nei Paesi del Bacino del Mediterraneo caratterizzati da una serricoltura a più basso contenuto tecnologico, soprattutto a causa della complessità della gestione della soluzione nutritiva (SN) (Pardossi *et al.*, 1994) e al rischio di diffusione di patogeni e di accumulo di metaboliti fitotossici nella SN (van Os e Stanghellini, 2001).

Tali inconvenienti, infatti, spesso rendono difficoltoso, o addirittura non vantaggioso, il passaggio a tecniche di coltivazione a ciclo chiuso. D'altra parte, è incalzante la necessità di mettere a disposizione degli operatori agricoli strumenti in grado di semplificare la gestione delle colture senza suolo a ciclo chiuso, sia per poter meglio affrontare le nuove disposizioni di legge in materia di prevenzione dell'inquinamento, sia per far fronte alle richieste di un mercato esigente nei confronti della sostenibilità ambientale dei processi produttivi.

Nell'ultima decade si è registrato un notevole interesse verso i sistemi di subirrigazione per le colture in contenitore in ambiente protetto, tanto in Europa (Molitor, 1993) quanto in Nord America (Uva *et al.*, 1998).

I sistemi di allevamento in vaso con distribuzione della SN per subirrigazione sono a ciclo chiuso (o virtualmente chiuso come in alcuni esempi di irrigazione su tappetino capillare) e, quindi, non disperdono la SN nell'ambiente. Nel variegato panorama delle

colture senza suolo, i sistemi di subirrigazione per le colture in vaso costituiscono un esempio consolidato e in rapida crescita di applicazione del ciclo chiuso, soprattutto per la produzione di piante ornamentali, rappresentando una delle tecnologie più promettenti per risparmiare acqua e fertilizzanti nelle colture di serra (Montesano *et al.*, 2004).

In questa nota verranno illustrati: 1) i principi base dei sistemi di subirrigazione, evidenziandone le principali differenze con i sistemi di irrigazione dall'alto; 2) i principali vantaggi e svantaggi offerti dalla subirrigazione rispetto ai sistemi di irrigazione tradizionali; 3) le varie tecniche di subirrigazione proposte per l'allevamento di piante in contenitore; 4) alcune semplici indicazioni sulla scelta del substrato e la gestione dell'irrigazione.

Quando acqua e nutrienti arrivano dal basso

L'acqua e i nutrienti, che nei sistemi di irrigazione dall'alto penetrano il substrato per gravità e, se in eccesso, fuoriescono dal basso, nei sistemi per subirrigazione attraversano il mezzo di crescita in senso inverso, entrano dal basso e salgono per azione della forza capillare, vincendo la forza di gravità.

Normalmente, per i sistemi di irrigazione tradizionali dall'alto, gli operatori agricoli impostano frazioni di drenaggio (rapporto percentuale tra la SN persa dal fondo del vaso e quella erogata, eccedente, dunque, la capacità del contenitore) comprese fra il 20 e il 50%. Il drenaggio viene favorito sia per cautelarsi da eventuali fenomeni di stress idrico, sia per consentire il dilavamento dei sali in eccesso che si accumulano nel substrato a causa dell'assorbimento selettivo delle piante e per la presenza nell'acqua di irrigazione di ioni poco assorbiti dalle piante (sodio, cloruro, solfato e, talvolta, anche calcio e magnesio). Ne risulta che la composizione della SN drenata è profondamente modificata rispetto alla SN di nuova preparazione, rendendone difficoltoso il riutilizzo. Infatti, nei tentativi di applicazione del ciclo chiuso ai sistemi di irrigazione dall'alto, si verifica una sorta di veloce "invecchiamento" chimico della SN, tanto più rapido quanto peggiore è la qualità dell'acqua irrigua e meno accurate sono le operazioni di controllo e reintegro della SN. Ciò rende periodicamente necessario il completo rinnovo della SN con conseguente spreco di acqua e concimi ed inquinamento delle falde idriche (Incrocci *et al.*, 2005a).

I sistemi di subirrigazione, al contrario, si caratterizzano per l'assenza di drenaggio dai vasi. I moduli di coltivazione (bancali, canalette, pavimento, etc. - vedi oltre) vengono periodicamente riempiti con la SN, per un tempo variabile da 5 a 20 minuti, in modo che la parte basale del vaso sia immersa nel liquido per 1-3 cm. In questo modo, la SN penetra nel vaso attraverso i fori presenti e viene assorbita dal substrato distribuendosi all'interno di esso, mossa dall'azione di risalita capillare e, nelle fasi successive, sotto la spinta dell'evaporazione. Normalmente, l'azione di risalita capillare crea una colonna d'acqua di 10-13 cm, in rapporto alle dimensioni delle particelle di cui è costituito il substrato di coltivazione (l'altezza della colonna diminuisce all'aumentare della dimensione delle particelle). Per questa ragione, la subirrigazione si è diffusa maggiormente per i vasi di dimensioni contenute (altezza intorno ai 15 cm), anche se è possibile adattare questa tecnica a colture che richiedono contenitori più grandi, modificando il rapporto tra le diverse granulometrie del substrato o scegliendo opportunamente i materiali che compongono i miscugli (Santamaria e Serio, 2001).

La SN in eccesso, che è presente nel modulo di coltivazione, al termine dell'intervento irriguo viene allontanata e raccolta per essere nuovamente utilizzata nelle fertirrigazioni successive. E' evidente che, a differenza dei sistemi di fertirrigazione dall'alto, la SN raccolta non deriva dal drenaggio dai vasi, ma semplicemente è la SN che non è stata assorbita dal substrato; pertanto la sua composizione risulterà modificata solo leggermente rispetto a quella di nuova preparazione.

Proprio la maggiore stabilità dei parametri chimici (pH e conducibilità elettrica - CE) della SN ricircolante rappresenta uno dei principali vantaggi della subirrigazione, in quanto rende più semplice, rispetto ad altri sistemi, la gestione della stessa. In definitiva, l'operatore deve semplicemente reintegrare i consumi delle piante aggiungendo SN di nuova preparazione, senza dover necessariamente effettuare complessi controlli e successivi aggiustamenti della composizione della SN di reintegro.

In una prova di confronto fra due sistemi a ciclo chiuso, l'NFT (Nutrient Film Technique) e la subirrigazione in canaletta, per la coltivazione di pomodoro, è stato possibile apprezzare la maggiore stabilità della CE della SN utilizzata nella coltura allevata in subirrigazione durante tutto il ciclo culturale: mentre in quest'ultimo caso la CE è rimasta pressoché costante rabboccando sempre i serbatoi di raccolta con SN con concentrazione uguale a quella di partenza, nel caso dell'NFT è stato necessario adeguare di volta in volta il grado di diluizione della SN usata per il rabbocco al

fine di mantenere la CE entro un intervallo accettabile per la coltura, con alterazione della composizione della SN ricircolante in termini di concentrazione degli elementi nutritivi e del loro rapporto (Montesano *et al.*, 2005b).

Tuttavia, anche con la subirrigazione si registrano variazioni, se pur ridotte, a carico della SN ricircolante. Esse sono principalmente dovute all'evaporazione e allo scambio che si verifica fra la SN e la parte basale del substrato durante gli interventi fertirrigui. In particolare, nel caso di utilizzo di acqua di cattiva qualità per la preparazione delle SN, ad esempio contenenti quantità elevate di NaCl, è possibile che la CE della SN ricircolante aumenti nel tempo, in seguito all'accumulo di sali nello strato inferiore del substrato; difatti, sebbene i sali in eccesso tendano a salire verso la parte alta del substrato (come sarà illustrato in seguito), può verificarsi che l'apporto di sali sia più veloce rispetto al tempo necessario per allontanare verso l'alto quelli non assorbiti. Una corretta gestione dell'irrigazione, comunque, e in particolare la riduzione dei tempi di contatto fra SN e substrato, riducono questo problema.

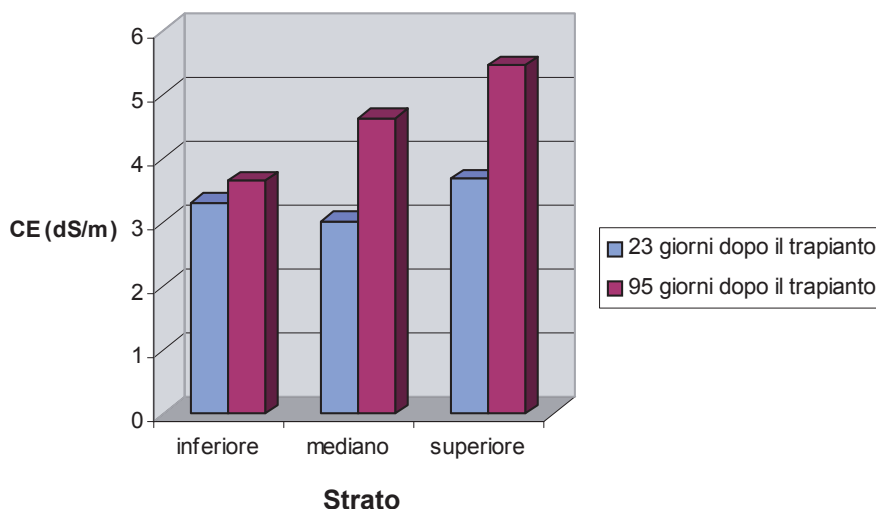


Figura 1 - Conducibilità elettrica (CE) degli strati inferiore, mediano e superiore del substrato (torba:perlite 60:40, v:v) in cui è stato coltivato il pomodoro usando la tecnica della subirrigazione in canaletta. CE rilevata in due momenti del ciclo colturale mediante Sigma Probe EC1 (Delta-T, Burwell, Cambridge, U.K.). CE della soluzione nutritiva pari a 2,8 dS/m.

Con la subirrigazione la lisciviazione dei sali è scarsa o assente, pertanto il rilascio di fertilizzanti nell'ambiente è minimo; tuttavia l'ambiente di crescita delle radici subisce modifiche ben maggiori di quelle che si verificano con i sistemi di irrigazione dall'alto.

Numerosi studi hanno messo in evidenza che uno degli effetti più rilevanti della subirrigazione, derivante dall'assenza di drenaggio durante il ciclo colturale, è il maggiore incremento della CE all'interno del substrato rispetto ai sistemi di irrigazione dall'alto. In realtà, però, i sali, a causa del continuo flusso unidirezionale di SN (verso l'alto), che è sospinto anche dall'evaporazione dell'acqua dalla superficie del substrato, si accumulano essenzialmente nel terzo superiore del substrato, dove le radici sono poco presenti per la maggiore umidità dello strato inferiore. La CE che si registra nella parte più bassa del substrato si mantiene abbastanza vicina a quella della SN ricircolante e tende a crescere di poco nel tempo, a differenza di quanto accade per lo strato superiore. In figura 1 è riportato l'andamento nel tempo della CE del substrato per l'allevamento di pomodoro in subirrigazione.

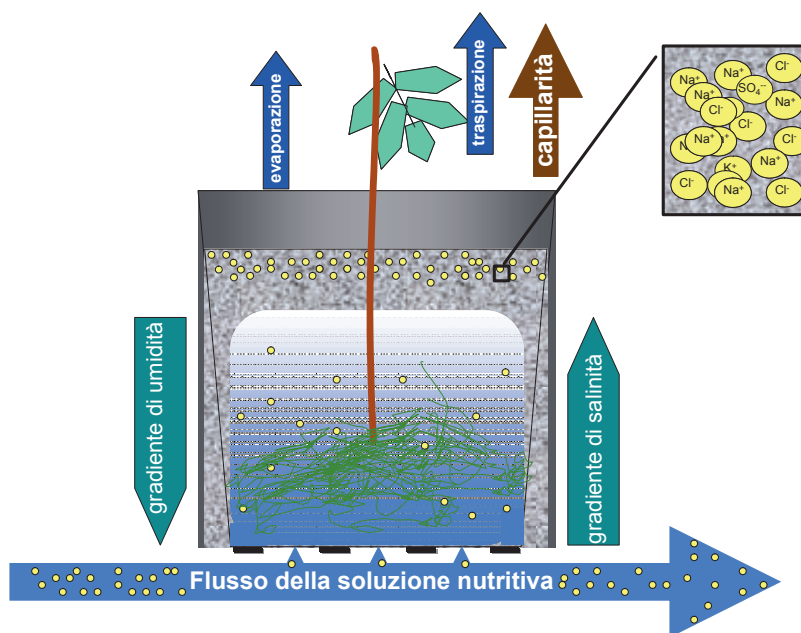


Figura 2 - Modello semplificato dei flussi della soluzione nutritiva, della risalita capillare e della stratificazione dell'umidità e dei sali in un vaso fertirrigato per subirrigazione.

In figura 2 è schematizzato un modello semplificato dei flussi della SN, della risalita capillare e della stratificazione dell'umidità e dei sali in un vaso fertirrigato per subirrigazione.

In ragione delle modifiche dell'ambiente radicale appena discusse, dovute al mancato allontanamento dei sali in eccesso, con la subirrigazione è necessario adeguare la nutrizione delle piante, riducendo la concentrazione dei nutrienti nella SN (van Iersel, 2007). Pertanto, oltre che per l'assenza di drenaggio, i sistemi di subirrigazione consentono di risparmiare nutrienti anche per la minore concentrazione delle SN utilizzate (Dole *et al.*, 1994; Zheng *et al.*, 2004).

I principali vantaggi e svantaggi

Rispetto ai sistemi tradizionali, i sistemi di subirrigazione presentano diversi vantaggi, sia di natura prettamente tecnico-agronomica sia, a conti fatti, di ordine economico-gestionale.

Di seguito ne vengono elencati i principali:

- Maggiore stabilità dei parametri chimici della SN ricircolante. Difatti, la notevole semplificazione della gestione della SN rende concreta la possibilità di una maggiore diffusione delle tecniche di coltivazione a ciclo chiuso.
- Maggiore uniformità di distribuzione di acqua e fertilizzanti e, conseguentemente, maggiore uniformità delle piante. Con le soluzioni impiantistiche proposte per le diverse tecniche di subirrigazione, tutti i vasi ricevono la stessa quantità di SN, a meno di grossolani errori nella gestione delle pendenze e dei flussi di erogazione e raccolta della SN stessa. Comunque, la relativa semplicità degli impianti di subirrigazione rende assai improbabile il verificarsi di tali anomalie.
- Piante più sane e maggiore efficacia dei fitofarmaci. Un aspetto che desta particolare interesse nei sistemi di subirrigazione delle piante in vaso è quello legato alla trasmissione di agenti patogeni e all'applicazione dei fitofarmaci. Infatti, l'assenza di drenaggio, tipica del sistema, impedisce ai propaguli infettivi di fuoriuscire dal vaso che ospita la pianta eventualmente infetta, riducendo il rischio di contaminazione della SN ricircolante. Il rischio può essere ulteriormente ridotto riducendo i tempi di contatto fra substrato e SN ricircolante, agendo sulla durata degli interventi irrigui. E' stata anche registrata una

maggiore efficacia di alcuni fitofarmaci distribuiti nella SN per le piante allevate in subirrigazione, in relazione al fatto che, in assenza di drenaggio e dilavamento del mezzo di crescita, il principio attivo rimane per più tempo nel substrato e quindi a disposizione della pianta (van Iersel *et al.*, 2001). In base a quanto riportato in un'indagine condotta negli USA, la maggior parte delle aziende florovivaistiche che utilizzano la subirrigazione non effettua la disinfezione della SN, senza tuttavia incorrere in un peggioramento dello stato fitosanitario della coltura (Uva *et al.*, 1998). L'incidenza di malattie fogliari, inoltre, è minore, perché la vegetazione non è bagnata durante l'irrigazione.

- Minore compattamento del substrato.
- Minore fabbisogno di acqua e fertilizzanti. L'assenza di drenaggio, il continuo ricircolo della SN, unitamente alla più bassa concentrazione dei nutrienti, comportano un notevole risparmio nei sistemi di subirrigazione rispetto ai sistemi a ciclo aperto e, in alcuni casi, anche rispetto ad altri sistemi di coltivazione a ciclo chiuso. Parallelamente, nei sistemi di subirrigazione si registra anche una maggiore efficienza d'uso delle risorse. In una prova di coltivazione a ciclo chiuso di pomodoro allevato in subirrigazione o con la tecnica dell'NFT, nel primo caso si è avuto un consumo di SN minore di circa 12 L/pianta a fronte di una maggiore efficienza d'uso dell'acqua (31 vs 26 grammi di prodotto per litro di SN utilizzata) (Montesano *et al.*, 2005a).
- Minore fabbisogno di manodopera. L'assenza di gocciolatori, soggetti ad otturazioni e, quindi, a periodici controlli e pulizia, comporta un notevole risparmio in termini di lavoro. Inoltre, è sufficiente un unico operatore per irrigare vaste superfici, dovendo azionare semplicemente una pompa. Va anche considerato che alcune tecniche di subirrigazione si prestano ad una meccanizzazione e automazione spinta (vedi bancali a flusso e riflusso movimentati meccanicamente).
- Maggiore sfruttamento della superficie della serra (vedi oltre).

Fra gli svantaggi ascritti alle tecniche di subirrigazione per la produzione di piante in contenitore vi sono sicuramente gli ingenti investimenti ed i lunghi tempi per l'ammortamento degli impianti, soprattutto nel caso di conversione di serre già esistenti e dotate di impianti obsoleti, mentre la scelta della subirrigazione è più facile quando si tratta di complessi serricoli da costruire *ex novo*.

Da un'analisi dei costi e dei ricavi di una tipica coltura di serra, la poinsettia (*Euphorbia pulcherrima*) allevata con diverse tecniche di coltivazione, è emerso che la subirrigazione è la tecnica che assicura il maggior reddito netto in virtù della riduzione dei costi di manodopera e dell'aumento della produzione lorda vendibile in seguito al miglior sfruttamento dello spazio-serra (Incrocci *et al.*, 2005b).

I sistemi di coltivazione con subirrigazione

Per la produzione di piante in contenitore, sono stati proposti diversi sistemi di coltivazione senza suolo che prevedono la distribuzione della SN per subirrigazione. Come già accennato, essi sono stati concepiti inizialmente per le produzioni di piante ornamentali, ma negli ultimi anni particolare attenzione è stata riservata a quei sistemi che si adattano anche alla produzione di piante orticole.

Di seguito si illustreranno sinteticamente i principali sistemi di coltivazione a ciclo chiuso con subirrigazione.

Bancali a flusso e riflusso

E' sicuramente il sistema più diffuso. Il modulo di coltivazione è costituito da un banchale, di dimensioni variabili, su cui sono disposti i vasi (foto 1). I bancali vengono periodicamente riempiti con SN per 5-20 minuti, a seconda della dimensione dei vasi e del grado di asciugatura del substrato, in modo da riportare il substrato alle condizioni idriche volute. Per ridurre al minimo l'interferenza del substrato sulla composizione chimica della SN ricircolante, è bene evitare interventi irrigui troppo lunghi.

I bancali sono realizzati generalmente in materiale plastico o in metallo, con il fondo scanalato per favorire il deflusso della SN in eccesso. Particolare attenzione deve essere riservata al posizionamento dei bancali che devono essere perfettamente orizzontali, per evitare ristagni e per garantire che il liquido si distribuisca uniformemente all'interno del modulo.

Il sistema è estremamente versatile e si presta bene alla meccanizzazione di alcune operazioni, come ad esempio la movimentazione automatica dei bancali.

Con questo sistema è possibile dedicare alla coltivazione l'80-90% della superficie di calpestio della serra (Molitor, 1993).



Foto 1 - Coltivazione di piante ornamentali con la tecnica dei bancali a flusso e riflusso (Azienda Florpagano – Terlizzi, BA).

Pavimento inondato

Si tratta di una soluzione estremamente adatta alle colture ornamentali a ciclo lungo, che non richiedono frequenti operazioni colturali e movimentazione. La SN viene erogata direttamente sul pavimento (in cemento) della serra, opportunamente costruito e livellato, in modo da garantire una pendenza minima, appena necessaria a convogliare l'acqua verso le zone di deflusso (foto 2). Generalmente sia l'erogazione che lo sgrondo della SN avvengono attraverso un canale centrale. Particolare attenzione deve essere rivolta alla posa in opera del pavimento, in modo da non dare un'eccessiva pendenza (maggiore è la pendenza, maggiore sarà il volume di SN necessario per irrigare la coltura e maggiori saranno le disformità nell'altezza della lama d'acqua creata) e da evitare la formazione di zone di ristagno (che comportano la formazione di alghe e la sovralimentazione idrica dei vasi situati in tali zone). A tale proposito, si consideri che una lama d'acqua di 2,5-3 cm è sufficiente per contenitori di tutte le dimensioni, a patto che il substrato utilizzato abbia una buona capacità di ritenzione idrica.

Con questa tecnica, è possibile differenziare all'interno della serra vari settori, delimitati da "arginelli" in materiale plastico. I settori devono essere occupati da colture aventi le stesse esigenze idriche.



**Foto 2 - Coltivazione di piante ornamentali
in subirrigazione su pavimento.**

E' necessario prevedere un impianto di riscaldamento basale con la funzione di ottenere la temperatura radicale desiderata, abbassare l'umidità relativa dell'aria al livello della coltura e velocizzare l'asciugatura del pavimento per evitare la formazione di alghe. Il riscaldamento basale però, di solito, non è sufficiente da solo per il condizionamento climatico della serra; è necessario, pertanto, prevedere un impianto aggiuntivo per garantire il corretto riscaldamento dell'ambiente.

Tappetino capillare

E' il sistema meno utilizzato, anche se non mancano aziende che propongono soluzioni tecniche interessanti. Prevede il posizionamento, sul terreno ben livellato o sui bancali, di un primo strato impermeabile, di un tappetino in materiale sintetico assorbente, ad altissima capillarità, che garantisce una rapida ed omogenea distribuzione dell'acqua di irrigazione, ed infine di un telo di copertura (foto 3). La SN viene generalmente erogata per mezzo di ali gocciolanti o, nel caso di bancali, immessa da un lato e, con la opportuna pendenza, raccolta dall'altro.



Foto 3 - Esempio di tappetino capillare per la coltivazione di piante aromatiche in pien'aria presso l'Azienda Agricola S.F.Flor – Albenga, SV (foto gentilmente concessa dalla CIA di Savona, Sede Provinciale di Albenga, SV).

Con questo sistema la componente evaporativa determina consumi idrici più elevati rispetto agli altri sistemi di subirrigazione (Dole *et al.*, 1994).

Subirrigazione in canaletta

Questa tecnica, molto interessante per la sua possibilità di applicazione alla produzione di ortaggi, viene ampiamente discussa da Parente *et al.* (2007) in questo stesso testo.

Alcuni suggerimenti

Le dinamiche che regolano il rifornimento idrico nei sistemi di coltivazione senza suolo con distribuzione della SN per subirrigazione sono assai diverse rispetto al caso in cui l'irrigazione avviene dall'alto. Nel caso della subirrigazione, infatti, non è possibile decidere a priori il livello idrico che si vuole mantenere

nel substrato, semplicemente impostando la somministrazione di un determinato volume di acqua o SN per ciascun contenitore. Al contrario, è il substrato stesso che, in base alle sue caratteristiche, regola i processi di assorbimento. Ne deriva che la scelta del substrato è di fondamentale importanza quando si adotta la tecnica della subirrigazione. Un buon substrato, adatto a questo uso, deve essere in grado di assorbire velocemente l'acqua attraverso l'azione della risalita capillare, garantire una sufficiente disponibilità di aria, in ragione della più o meno frequente sommersione delle radici, ed essere facilmente riумettabile. Inoltre, il substrato deve essere anche leggero, per non appesantire bancali e canalette. Si rimanda a Parente *et al.* (2007) in questo stesso testo, per ulteriori approfondimenti tecnici sull'argomento.

Oltre che sulla scelta del substrato, l'operatore sarà chiamato ad agire sul numero e la durata degli interventi irrigui. L'irrigazione potrà essere gestita con temporizzatori o automatizzata mediante sensori di umidità (tensiometri, dispositivi elettronici di varia natura). Nel primo caso, è bene che gli interventi irrigui non superino i 10 minuti di durata: è stato osservato infatti che la maggior parte dell'assorbimento idrico avviene in questo lasso di tempo. Inoltre, l'acqua che ha velocemente saturato lo strato inferiore del substrato si ridistribuisce in esso più lentamente dopo il termine dell'irrigazione. Ne deriva che, per riумidificare un substrato asciutto e per ottenere una bagnatura più uniforme, è preferibile eseguire una serie di più interventi irrigui di durata limitata, distanziati di qualche ora l'uno dall'altro, piuttosto che aumentare la lunghezza del singolo intervento.

Bibliografia

- Dole J.M., Cole J.C., Broembsen S.L., 1994. Growth of Poinsettias, nutrient leaching and water use efficiency respond to irrigation methods. *HortScience* 29, 858-864.
- Incrocci L., Scaramuzzi S., Pardossi A., 2005a. Un'analisi dei sistemi di coltivazione a ciclo chiuso per la produzione in serra delle piante ornamentali in vaso. I. Aspetti tecnici. *Flortecnica*, 10 (3), 58-67.
- Incrocci L., Scaramuzzi S., Pardossi A., 2005b. Un'analisi dei sistemi di coltivazione a ciclo chiuso per la produzione in serra delle piante ornamentali in vaso. II. Aspetti economici. *Flortecnica*, 10 (4), 62-70.

- Molitor H.D., 1993. Tecniche di irrigazione a ciclo chiuso per le coltivazioni in serra e in pien'aria. *Flortecnica* 17 (12), 36-40.
- Montesano F., Parente A., Santamaria P., 2004. La subirrigazione in serra. In: Pardossi A., Incrocci L., Marzietti P., *Uso razionale delle risorse nel florovivaismo: l'acqua*. Quaderno ARSIA 5/2004, Regione Toscana, Firenze, 203-213.
- Montesano M., Favuzzi G., Parente A., Serio F., Santamaria P., 2005 a. NFT vs Subirrigation: I. Yield and Water Use Efficiency of Tomato Grown in Closed Soilless Systems under Salinity or Water Stress. *HortScience*, 40, 1011 (Abstract n. 306).
- Montesano M., Ferulli C., Parente A., Serio F., Santamaria P., 2005 b. NFT vs Subirrigation: II. Tomato Fruit Quality Grown in Closed Soilless Systems under Salinity or Water Stress, 40, 1011 (Abstract n. 307).
- Pardossi A., Malorgio F., Tognoni F., Beccatelli M., 1994. La gestione della soluzione nutritiva in colture senza suolo a ciclo chiuso. *L'Informatore Agrario*, 50 (44), 43-56.
- Parente A., Santamaria P., Serio F., 2007. La subirrigazione in canaletta. In: *I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso* (a cura di P. Santamaria), Aracne Editrice, Roma, 29-50.
- Santamaria P., Serio F., 2001. Coltivazione a ciclo chiuso: la subirrigazione in canaletta. *Informatore Agrario*, 57 (41), 45-49.
- Uva W.L., Weiler T.C., Milligan R.A., 1998. A survey on the planning and adoption of zero runoff subirrigation systems in greenhouse operations. *HortScience*, 33, 193-196.
- van Iersel M.W., Oetting R.D., Hall D.B., Kang. J.G., 2001. Application technique and irrigation method affect imidacloprid control of silverleaf whiteflies (Homoptera: Aleyrodidae) on poinsettias. *J. Econ. Ent.*, 94, 666-672.
- van Os E.A., Stanghellini C., 2001. Diffusion and environmental aspects of soilless growing systems. *Italus Hortus*, 8 (6), 9-15.
- Van Iersel, 2007. La gestione della fertilizzazione nei sistemi con subirrigazione. In: *I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso* (a cura di P. Santamaria), Aracne Editrice, Roma, 51-64.
- Voogt W., Sonneveld C., 1997. Nutrient management in closed growing system for greenhouse production. In: Goto, E., Kurata, K., Hayashi, M., Sase, S. (Eds.), *Plant Production in Closed Ecosystems*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 83-102.
- Zheng Y., Graham T., Richard S., Dixon M., 2004. Potted gerbera production in a subirrigation system using low-concentration nutrient solutions. *HortScience*, 39, 1283-1286.

La subirrigazione in canaletta

**Angelo PARENTE, Pietro SANTAMARIA,
Francesco SERIO**

Premessa

I sistemi senza suolo a “ciclo chiuso” consentono di risparmiare fertilizzanti e acqua e di migliorare la sostenibilità ambientale grazie alla riutilizzazione della soluzione nutritiva (SN) che, reintegrata dell’acqua e degli elementi nutritivi asportati dalle piante, viene reimpressa in circolo.

Con questi sistemi può risultare difficoltoso riutilizzare, durante l’intero ciclo colturale, la SN ricircolante a causa dei processi di asportazione selettiva da parte delle piante che ne alterano la composizione.

Nella presente nota, dopo aver illustrato il principio del sistema di coltivazione senza suolo della subirrigazione in canaletta (SUBinC), saranno descritti i componenti dell’impianto, definiti i criteri alla base della scelta del contenitore di coltivazione e del substrato e indicate alcune modalità di automazione della fertirrigazione, scelte tra quelle più semplici. Infine, verranno presentati alcuni dati di confronto tra SUBinC e altri sistemi senza suolo, anche a ciclo chiuso.

Principi del metodo

La tecnica della SUBinC deriva dagli altri sistemi di subirrigazione e, in particolare, dal flusso e riflusso. In comune con questi presenta il principio di assorbimento dell’acqua e degli elementi nutritivi. La SN viene distribuita al di sotto del vaso ed è assorbita per capillarità. L’alimentazione della pianta per subirrigazione determina la creazione di un flusso unidirezionale di acqua ed elementi minerali dal basso verso l’alto. Il substrato assorbe la SN finché non raggiunge l’equilibrio. Tutto ciò che non viene assorbito torna al serbatoio di raccolta-alimentazione senza aver interagito con la SN circolante presente nel substrato (Reed, 1996). Di conseguenza non viene alterata la composizione della SN in

circolo, per cui il reintegro dei consumi può essere fatto semplicemente aggiungendo, alla SN residua, SN di nuova preparazione. Questo meccanismo evita di scaricare nell'ambiente SN esausta anche con cicli colturali piuttosto lunghi quali quelli del pomodoro o anche di specie floricole. Una trattazione più ampia di questo argomento è presentata in Montesano *et al.* (2007), in questo volume.

La differenza sostanziale rispetto agli altri sistemi di subirrigazione è che con la SUBinC la SN scorre all'interno di canalette.

I componenti del sistema

Gli elementi costruttivi essenziali che differenziano la SUBinC dagli altri sistemi che prevedono la subirrigazione, sono: 1) le canalette; 2) la pompa; 3) il serbatoio; 4) il sistema di distribuzione della SN (figura 1).

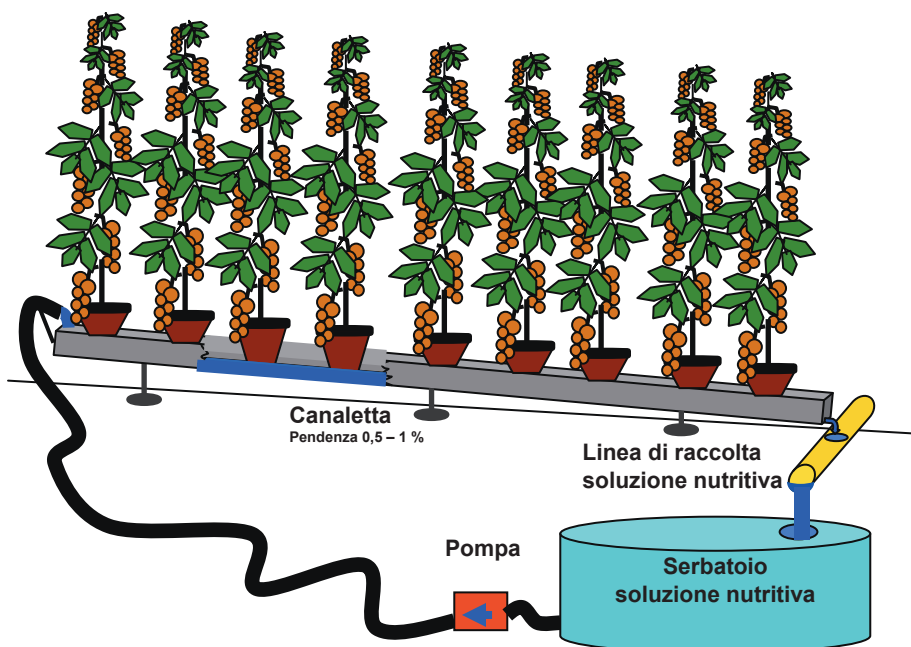


Figura 1- Rappresentazione schematica dei principali componenti del sistema 'subirrigazione in canaletta'.

Canalette

Rappresentano l'elemento più caratterizzante del sistema. Le canalette devono essere di larghezza idonea ad accogliere i vasi di coltivazione. È importante curare la perfetta e omogenea pendenza per favorire il rapido e totale deflusso della SN per gravità ed evitare ristagni idrici. Il completo asciugamento del fondo della canaletta tra un intervento irriguo e il successivo evita la fuoriuscita delle radici dal vaso e garantisce il corretto funzionamento del sistema. Le pendenze più opportune variano tra 0,5 e 1%. La lunghezza dipende soprattutto dalle dimensioni della serra. Con la SUBinC non sussistono i vincoli determinati dalla possibile carenza di ossigeno nella SN che, ad esempio, limitano la lunghezza dei moduli nell'NFT. Con la SUBinC, infatti, l'erogazione della SN non è continua e l'apporto di ossigeno alle radici è garantito dalla capacità per l'aria del substrato. L'unico limite può derivare dal dislivello che si instaura tra l'inizio e la fine della canaletta, soprattutto quando non si sfrutta la naturale pendenza del terreno. Considerando un piano d'appoggio orizzontale, infatti, una canaletta lunga 50 m con pendenza dell'1% determina il dislivello di 50 cm.

I materiali di costruzione possono essere vari: alluminio, ferro zincato, acciaio e polipropilene (in quest'ultimo caso necessitano di sostegni rigidi per tutta la lunghezza - foto 1).

È bene che le canalette siano rivestite con un foglio di polietilene per evitare il contatto diretto della SN con la canaletta e quindi il possibile rilascio di sostanze nella SN. All'interno della canaletta l'altezza della lama d'acqua non deve essere eccessiva, sia per evitare scambi tra SN circolante all'interno del vaso e SN che scorre, sia per ridurre i volumi in gioco. È sufficiente considerare, a questo proposito, che una canaletta lunga 15 m, larga 22 cm con lama d'acqua di 3 cm contiene 100 L di SN in movimento, con il sistema a regime, mentre con altezza della lama di 1 cm il volume di SN in gioco è pari a 33 L. Al tempo stesso l'altezza non deve essere eccessivamente ridotta perché ne sarebbe ostacolata la bagnatura del substrato. Indicativamente è opportuno che sia compresa tra 1 e 2 cm (Santamaria e Serio, 2001).

Serbatoio

È necessario per la raccolta della SN dalle canalette e per il suo stoccaggio tra un intervento irriguo e l'altro. È installato ad una quota inferiore rispetto al piano delle canalette, in alcuni casi anche al di sotto del piano di campagna. È opportuno che abbia dimensioni tali da garantire una quantità di SN pari a 3-4 L/pianta.

Pompa

Posta nel punto più a valle, serve a immettere a monte della canaletta la SN. La portata va dimensionata in modo da garantire, all'interno delle canalette, un flusso di SN di 1-2 L/min.



Foto 1 - Supporti in legno, che garantiscono la necessaria rigidità alle canalette in polipropilene, e sistema di sostegno regolabile in altezza (e lateralmente) per impostare le pendenze desiderate.

Sistema di distribuzione

E' costituito da tubi di vario diametro, valvole di arresto e di mandata, collettori, elettrovalvole, ecc., necessari per la distribuzione e raccolta della SN.

La scelta del vaso

La principale caratteristica che condiziona le proprietà fisiche del substrato (porosità, rapporti aria/acqua) e il volume totale a disposizione delle radici è la dimensione del vaso. In particolare, la porosità (e quindi l'aerazione del substrato) può rappresentare un

elemento di criticità in quanto si riduce nel corso del ciclo colturale per effetto del riassetamento reciproco delle particelle solide all'interno del vaso e dell'accrescimento delle radici che occupano parte della porosità inizialmente disponibile (Gruda e Schnitzler, 2004). La dimensione più opportuna va scelta anche in funzione della specie e, quindi, della durata del ciclo colturale.

Va da sé, inoltre, che le dimensioni del vaso devono essere commisurate a quelle della canaletta. Vasi di diametro pari alla larghezza della canaletta, ad esempio, impediscono il corretto deflusso della SN all'interno dei moduli di coltivazione. Al contrario, vasi di dimensioni troppo ridotte, rispetto al lume della canaletta, potrebbero comportare difficoltà di bagnatura per la possibile creazione di percorsi preferenziali della SN.

In linea del tutto generale, è opportuno orientarsi verso vasi di dimensioni medio-grandi (6-10 L) preferendo, ovviamente, le maggiori dimensioni per specie con ampio apparato radicale e con cicli colturali piuttosto lunghi. Vasi di dimensioni molto piccole, infatti, potrebbero originare problemi per un basso volano idrico e per l'insorgenza di fenomeni di salinizzazione dell'ambiente radicale. Raddoppiando il volume di substrato a disposizione delle piante (da 3,2 a 6,4 L), Incrocci *et al.* (2006) hanno annullato gli effetti negativi dovuti all'accumulo di sali nel substrato di coltivazione sulla crescita di piante di pomodoro allevate con la SUBinC. A parità di substrato, con l'aumentare delle dimensioni del vaso, inoltre, non cambia la percentuale di materiale solido ma aumenta il rapporto tra pori pieni d'aria e pori pieni d'acqua all'interno del vaso (Fonteno, 1996).

Un altro aspetto da considerare nella scelta del vaso riguarda la presenza o meno di piedini e la loro altezza. Nella figura 2 è possibile notare che, a parità di volume e tipologia di substrato, con vasi dotati di piedini (quindi leggermente sollevati dal fondo della canaletta, in cui il contatto con la SN avviene solo attraverso i fori posti alla base del vaso) l'aumento della CE e la variazione del pH della SN ricircolante è minore rispetto ai vasi senza piedini, che poggiano, invece, direttamente sul fondo della canaletta e in cui il contatto con la SN avviene lateralmente.

In quest'ultimo caso si verifica lo scambio tra SN in circolo e SN già presente all'interno del vaso. Con questa tipologia di vasi, per motivi costruttivi, si accumula sempre un certo volume di SN sul fondo del vaso.

A parità di flusso di SN, i vasi senza piedini sono a contatto con una maggiore quantità di SN che entra nel vaso e va a sostituire quella presente alla base (Santamaria *et al.*, 2003).

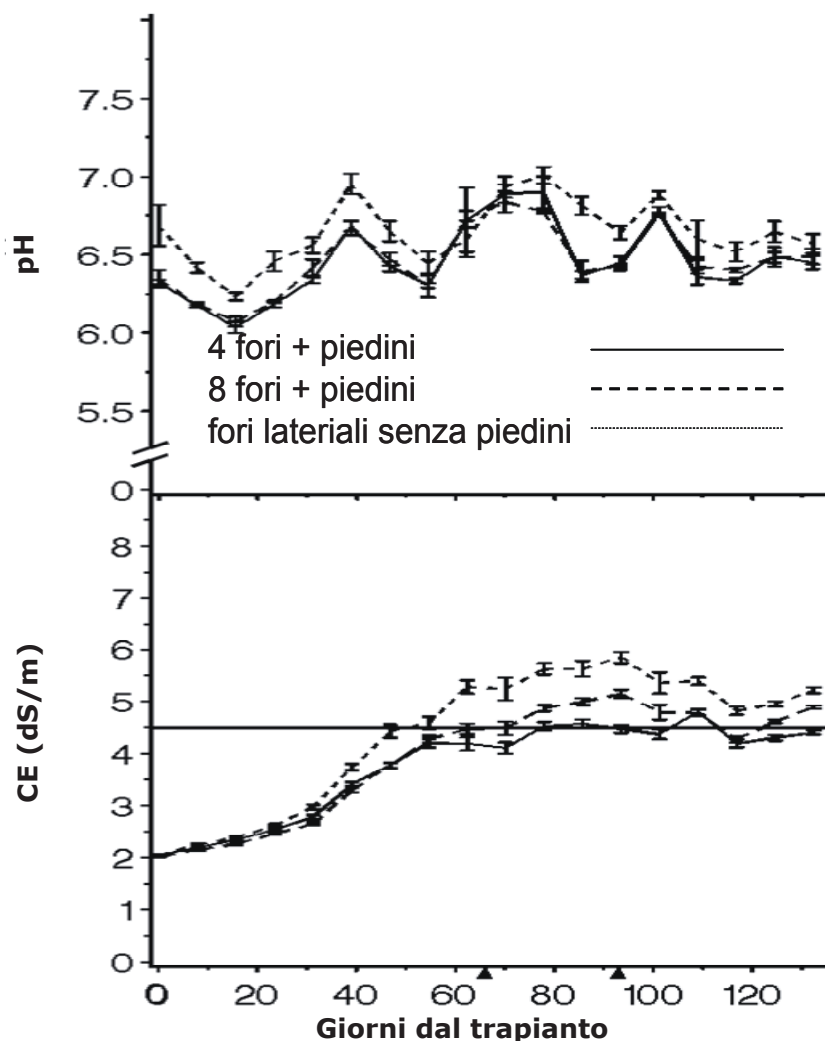


Figura 2 – Modifica della conducibilità elettrica (CE) e del pH della soluzione nutritiva ricircolante in funzione della tipologia di vaso (presenza e numero di piedini). Le barre verticali rappresentano \pm ES delle medie (n=3) (da Santamaria *et al.*, 2003).

Quest'ultima si presenterà necessariamente modificata, nei rapporti e nelle quantità degli elementi nutritivi, essendo stata a contatto per tempi relativamente lunghi e, quindi, sottoposta all'assorbimento preferenziale da parte delle radici della pianta. Il modo per ovviare a tale inconveniente consiste nella corretta

definizione dei parametri irrigui, cioè della frequenza e della durata dell'irrigazione. La tipologia con piedini, pur modificando meno la SN, presenta l'inconveniente di creare un microclima favorevole alla fuoriuscita delle radici tra fondo del vaso e canaletta (Elia *et al.*, 2003). Anche in questo caso, il contatto diretto delle radici con la SN circolante modifica fortemente la composizione della SN. Inoltre, la presenza di piedini comporta la necessità di ricorrere ad altezze maggiori della lama d'acqua all'interno delle canalette. Va anche considerato che la presenza di radici nel lume della canaletta, determinando il contatto diretto con la SN, può indurre una maggiore incidenza di malattie tipiche dei sistemi senza suolo, in particolar modo dovute a *Pythium* e *Phytophthora* spp. (Stanghellini *et al.*, 2000) e quindi la necessità di ricorrere a sistemi di disinfezione della SN (Minuto *et al.*, 2005). Nella prova citata, per ovviare agli inconvenienti descritti, le radici che fuoriuscivano dal vaso venivano periodicamente rimosse (Elia *et al.*, 2003). Nessuna influenza sembra aver avuto, invece, il diverso numero di fori presenti sul fondo del vaso.

La scelta del substrato

Rappresenta l'altro elemento essenziale della SUBinC. La conoscenza, oltre che delle caratteristiche chimiche (pH, CE, elementi scambiabili, ecc.), delle proprietà idriche del substrato di coltivazione risulta fondamentale con questo sistema. Per garantire l'apporto di acqua ed elementi nutritivi il substrato deve presentare una sufficiente capacità di reimpibizione e una buona capacità di ritenzione idrica, ottima risalita capillare e, infine, una buona aerazione (elevata capacità per l'aria). Queste condizioni sono garantite dalla distribuzione di "pori capillari" (con diametro minore di 0,3 mm) e "pori non capillari" (con diametro maggiore di 0,3 mm) all'interno del substrato. I primi sono in grado di trattenere acqua per capillarità; i secondi sono preposti alla aerazione delle radici (Montesano *et al.*, 2004). La corretta proporzione tra queste due tipologie di pori, e quindi la buona aerazione, è da tenere in debita considerazione con questo sistema di irrigazione data la distribuzione soprattutto basale delle radici all'interno del vaso e considerando che il substrato raggiunge condizioni idriche vicine alla saturazione proprio nella parte basale.

Di qui l'importanza di definire rapidamente almeno le principali caratteristiche fisiche del substrato, soprattutto nel caso di substrati organici in quanto possono verificarsi differenze strutturali nel tempo, ad esempio con le diverse forniture del

materiale. Del resto, la crescita delle piante coltivate in contenitore sembra essere condizionata più dalla capacità del contenitore che dalla tensione al di sopra della quale viene erogata l'acqua (Karlovitch e Fonteno, 1986). Nella tabella 1 sono riportate alcune caratteristiche di quattro substrati determinate con il 'metodo del vaso', che tiene conto del tipo di contenitore (Niedzela e Nelson, 1992). Si tratta di un metodo, facilmente applicabile anche in azienda senza particolari attrezzature, che consente di determinare alcune caratteristiche idrauliche di un substrato in funzione del tipo di contenitore (Montesano *et al.*, 2004).

Tabella 1 – Principali caratteristiche fisiche di quattro substrati determinate con il 'metodo del vaso'.

Substrato	Densità apparente (g/L)	Porosità	Capacità per l'aria (%)	Capacità del contenitore
Perlite	166 c	57,8 b	32,8 a	25 d
Pomice	488 a	64,9 ab	28,9 a	36 c
Torba bionda	170 c	60,8 b	16,8 b	44 b
Torba scura	332 b	69,7 a	9,7 c	60 a

(1) Lettere diverse all'interno della stessa colonna indicano differenze statisticamente significative per $P = 0,05$.

I dati riportati in tabella 1 dimostrano che la capacità per l'aria (cioè la quantità di aria presente nel substrato dopo che è stato saturato e lasciato sgrondare) della torba è molto bassa mentre risulta elevata la capacità del contenitore (cioè la quantità massima di acqua che il substrato può trattenere). Ciò indica che la torba tende a mantenere satura d'acqua un'elevata percentuale della sua porosità. Questo dato evidenzia il rischio che si corre utilizzando la torba da sola, soprattutto quella scura, in vasi di dimensioni elevate (10 L): in queste condizioni può verificarsi asfissia radicale. Per ovviare a ciò è necessario mescolare, in opportune proporzioni, questa tipologia di torba con materiali che presentino caratteristiche fisiche opposte. Ad esempio, il miscuglio perlite:torba (3:1 v/v) fornisce buoni risultati nella coltivazione di pomodoro in subirrigazione, garantendo l'ottimale rifornimento di acqua alle piante anche durante le ore più calde della giornata.

Differenze produttive notevoli possono derivare dal differente comportamento nei confronti di capacità per l'aria e capacità per l'acqua che i diversi materiali possono presentare e che vanno rapportate al sistema di distribuzione della SN adottato (Lenzi *et al.*, 2000). Al variare delle caratteristiche idrologiche, infatti, e

soprattutto della ritenzione idrica, varia la frequenza di distribuzione dell'acqua e quindi varia anche la quantità di acqua che viene distribuita nel corso del singolo intervento irriguo e giornalmente (Rouphael *et al.*, 2004).

L'automazione dell'intervento irriguo

La composizione della SN può variare anche in rapporto al regime irriguo adottato, cioè alla durata e alla frequenza con cui la SN viene distribuita. Un modo empirico per definire queste variabili deriva dall'osservazione dell'umidità degli strati più superficiali del substrato: come regola generale si può considerare che lo strato più superficiale a contatto con l'aria deve risultare quasi asciutto mentre immediatamente al di sotto il materiale deve presentarsi umido. In tal modo si evita anche di creare, in corrispondenza del colletto delle piante, un microclima favorevole all'insediamento di patogeni.

L'automazione dell'intervento irriguo può essere realizzata in modo estremamente semplificato ricorrendo all'utilizzazione di semplici temporizzatori. Si tratta di un sistema di "automazione" dell'intervento irriguo economico ma che non tiene conto delle esigenze della pianta e delle condizioni ambientali, con una conseguente cattiva gestione dell'acqua di irrigazione (Bacci e Checcacci, 2004).

Un sistema, invece, che pur rimanendo relativamente economico consente di erogare l'acqua in funzione delle esigenze della pianta e della richiesta evapotraspirativa dell'ambiente in modo anche completamente automatico, è il tensiometro strumento con cui si misura la tensione dell'acqua nel substrato (foto 2). Come indicazione di massima, nelle colture senza suolo in vaso l'irrigazione dovrebbe incominciare quando la tensione misurata nel substrato è prossima a -50 hPa e terminare quando si approssima a -10 hPa (Parente e Santamaria, 2003). In questo intervallo l'acqua è "facilmente disponibile" e si evitano, quindi, stress idrici alle piante.

Se le variabili irrigue vengono impostate correttamente, considerando, oltre che le esigenze delle piante, anche le caratteristiche del substrato è possibile ridurre al minimo le modifiche della SN. In una prova su pomodoro 'Naomi' coltivato con la SUBinC con vasi da 10 L riempiti con il miscuglio perlite:torba 3:1 (v/v) e impostando la tensione di 90 hPa, la CE della SN ricircolante è risultata simile a quella della SN di nuova preparazione per oltre 200 giorni (fig. 3).

- I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso -



Foto 2 – Particolare di un tensiometro inserito in un vaso e dotato di sistema per l’automazione dell’intervento irriguo (tensioswitch).

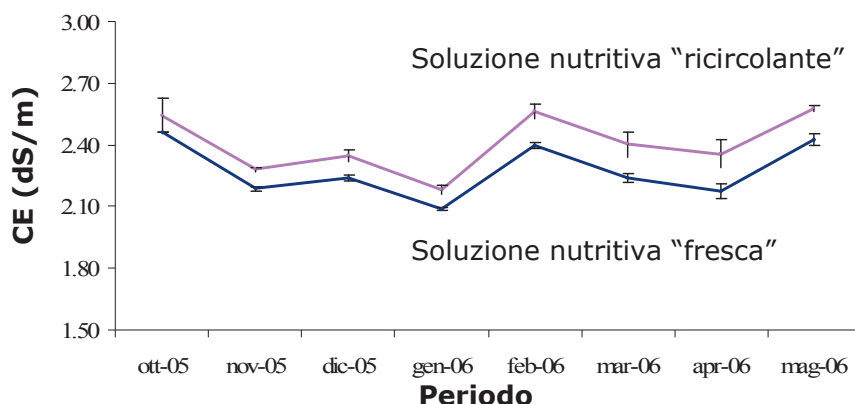


Figura 3 - Variazione della conducibilità elettrica (CE) della soluzione nutritiva ricircolante e di quella di nuova preparazione per la coltivazione di pomodoro (cv. Naomi) utilizzando la tecnica della subirrigazione in canaletta gestita in automatico con un tensiometro (*set point* = 90 hPa). Le barre verticali rappresentano \pm ES delle medie ($n=3$).

Quanto minore è il valore del potenziale matriciale della SN nel substrato (e quindi quanto maggiori sono gli interventi fertirrigui) tanto maggiore è la probabilità che la composizione della SN risulti modificata (fig. 4).

È importante considerare che, con questo sistema, il tensiometro va inserito preferibilmente in corrispondenza della metà inferiore del vaso (ma non in prossimità del fondo del vaso), dove si concentrano la maggior parte delle radici.

Confronto con altri sistemi senza suolo

La SUBinC è un sistema senza suolo utilizzato soprattutto per la coltivazione di piante ornamentali o da fiore reciso.

Diverse esperienze riportano, infatti, l'applicazione della SUBinC per la coltivazione di ficus, gerbera, poinsettia, impatiens e geranio, solo per citare alcuni casi (Cox, 2001; Venezia *et al.*, 1999).

Negli ultimi anni l'utilizzazione sta interessando anche la coltivazione di specie orticole, in quanto ai vantaggi tipici del sistema si aggiunge la possibilità di migliorare le caratteristiche

qualitative dei prodotti e di aumentare il risparmio di SN e, quindi, di acqua ed elementi nutritivi rispetto ad altre tecniche di coltivazione senza suolo, anche a ciclo chiuso.

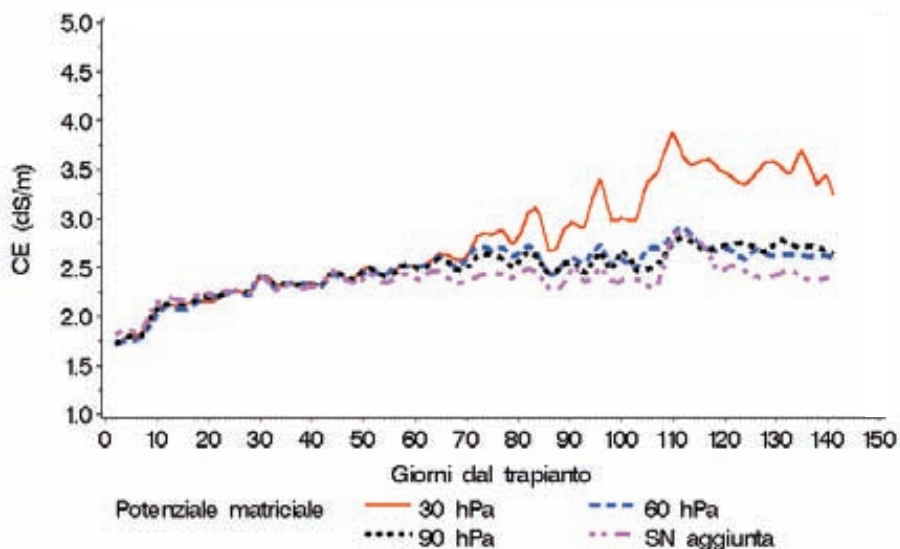


Figura 4 – Variazione della conducibilità elettrica (CE) della soluzione nutritiva di nuova preparazione e ricircolante in un sistema di coltivazione di subirrigazione in canaletta per la produzione di pomodoro (cv. Kabiria) in funzione del potenziale metriciale nel substrato (Mininni, 2007).

In particolare il sistema è stato utilizzato per la coltivazione di melanzana e peperone (Venezia *et al.*, 2001), zucchino (Rouphael e Colla, 2005) e pomodoro (Santamaria *et al.*, 2003).

Uno dei risultati più interessanti della SUBinC riguarda gli aspetti legati alla qualità dei frutti ottenuti dalle piante allevate con questo sistema quando viene posto a confronto con i sistemi tradizionali a ciclo aperto.

In una ricerca di Santamaria *et al.* (2003) è emerso che la qualità dei frutti di pomodoro ciliegino (cv. Naomi) ottenuti dalle piante coltivate con la tecnica della SUBinC è migliore di quella delle bacche ottenute con il sistema tradizionale che prevede la distribuzione della SN dall'alto, per l'incremento di sostanza secca e solidi solubili (tab. 2).

Tale incremento è risultato più elevato nella fase finale del ciclo colturale (fig. 5).

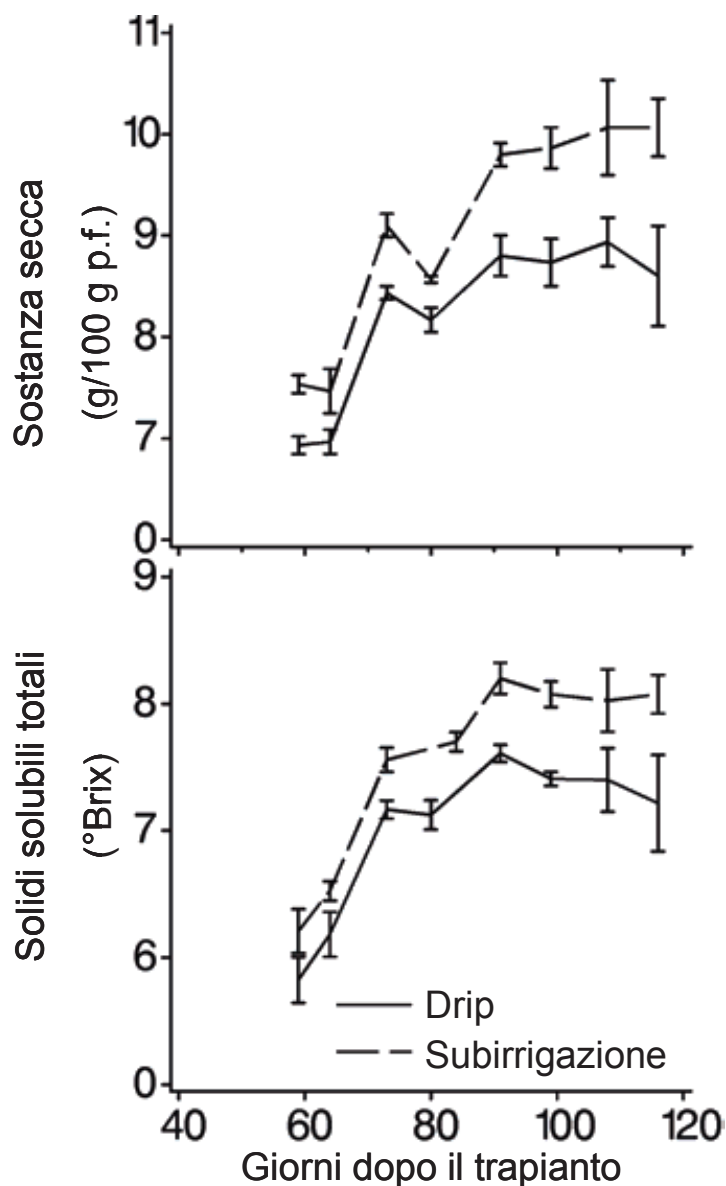


Figura 5 – Influenza del sistema di distribuzione della soluzione nutritiva su sostanza secca e solidi solubili dei frutti di pomodoro (cv Naomi) in diversi momenti del ciclo colturale. Le barre verticali rappresentano \pm ES delle medie (n=3) (da Santamaria *et al.*, 2003).

Tabella 2 - Influenza del sistema di distribuzione della soluzione nutritiva sulla produzione di 'Naomi' (Santamaria *et al.*, 2003).

Distribuzione soluzione nutritiva	Produzione totale (kg/pianta)	Frutti		Solidi solubili (°Brix)	Sostanza secca (g/kg)
		n.	Peso medio (g)		
Dall'alto	2,4	108	21	7,1	0,82
Subirrigazione	2,0	104	19	8,2	0,91
<i>Significatività</i> ⁽¹⁾	**	n.s.	*	***	***

⁽¹⁾ Significatività dell'F: n.s., *, **, ***, rispettivamente, non significativo e significativo per P<0,05, 0,01 e 0,001.

Risultati simili sono stati ottenuti su 'Diana', cultivar classificabile nella categoria commerciale del pomodoro insalatato, caratterizzato da pezzatura media dei frutti di 120-140 g, utilizzando il suddetto dispositivo sperimentale. Più in particolare, in quest'ultima ricerca, oltre al più elevato contenuto di sostanza secca e solidi solubili totali (tab. 3), è emersa una più elevata concentrazione vitamina C, acidità titolabile, fruttosio e calcio, parametri importanti dal punto di vista nutrizionale e salutistico (Mininni, 2007).

Tabella 3 - Influenza del sistema di distribuzione della soluzione nutritiva sulla produzione di 'Diana' (Mininni, 2007).

Distribuzione soluzione nutritiva	Produzione totale (kg/pianta)	Frutti		Solidi solubili (°Brix)	Sostanza secca (g/100 g p.f.)
		n.	Peso medio (g)		
Dall'alto	4,1	30	134	4,9	6,5
Subirrigazione	3,3	28	112	5,6	6,8
<i>Significatività</i> ⁽¹⁾	***	n.s.	***	*	*

⁽¹⁾ Significatività dell'F: n.s., *, **, ***, rispettivamente, non significativo e significativo per P<0,05 e 0,001.

Sotto il profilo qualitativo quindi la risposta del pomodoro alla subirrigazione è assimilabile alla risposta che le piante forniscono in presenza di elevata CE della SN o per stress idrici come

evidenziato da numerose ricerche condotte sull'argomento (Adams, 1991; Santamaria *et al.*, 2004; Serio *et al.*, 2006).

Accanto al risvolto positivo sulla qualità, occorre segnalare la decurtazione di produzione, maggiore nell'insalatato che nel ciliegino, indotta, in entrambi i casi, essenzialmente dalla riduzione di dimensioni dei frutti (tab. 2 e 3).

Questi risultati possono essere riconducibili ad un leggero stato di stress idrico che affrontano le piante subirrigate rispetto alle piante in cui l'irrigazione viene effettuata dall'alto: la disponibilità idrica, in valore assoluto all'interno del vaso, è maggiore nel quando la SN viene distribuita dall'alto, perché l'irrigazione interessa tutto il substrato e le radici sono diffuse mediamente in tutto il vaso, mentre nel secondo caso solo la parte basale è colonizzata dall'apparato radicale.

Con la SUBinC si possono realizzare notevoli economie di acqua. Infatti, con densità di 2,1 piante/m² di pomodoro e un ciclo colturale di 120 giorni, con il ciclo aperto sono stati consumati quasi 2.500 m³/ha di acqua mentre con la SUBinC 1.770 m³/ha (Santamaria *et al.*, 2003). Anche Incrocci *et al.* (2006), confrontando la SUBinC con la distribuzione della SN dall'alto, quest'ultimo sistema realizzato però a ciclo chiuso discontinuo, hanno registrato minori consumi e una maggiore efficienza d'uso dell'acqua con la SUBinC. I maggiori consumi di SN che si osservano nel sistema in cui la distribuzione della SN avviene dall'alto, nonostante il ricircolo della SN, sono dovuti alla necessità di effettuare un numero elevato di sostituzioni della SN durante il ciclo colturale a causa dell'innalzamento della CE e dell'accumulo di ioni non assorbiti dalle piante.

Anche confrontando la SUBinC con altri sistemi a ciclo chiuso, e in particolare con l'NFT (Nutrient Film Technique), i risultati produttivi ottenuti risultano interessanti. Ad esempio, la produzione di pomodoro 'Kabiria' (tipologia insalatato) non è risultata influenzata: con entrambi i sistemi le piante hanno prodotto circa 1,5 kg/pianta di bacche commerciabili (tab. 4).

Anche qui, come nel caso precedente, con la SUBinC le bacche sono risultate più piccole (Santamaria *et al.*, 2005). Quest'ultimo aspetto però può non essere uno svantaggio ma un ulteriore indice di "qualità" del prodotto, soprattutto per quelle tipologie di pomodoro di cui il consumatore apprezza le piccole dimensioni, difficili da realizzare con altri sistemi di coltivazione. Anche in questo caso, come nel precedente, la SUBinC ha consentito di risparmiare quasi il 17% di acqua e di aumentare l'efficienza d'uso dell'acqua: per produrre 1 kg di bacche sono stati utilizzati 32 L di acqua con la SUBinC e 38 con l'NFT (tab. 5).

Tabella 4 – Produzione di pomodoro (cv. Kabiria) coltivato con la subirrigazione in canaletta (SUBinC) e in NFT.

Sistema	Totale	Commerciale	Peso frutti
	(kg/pianta)		(g)
NFT	1,7	1,6	43
SUBinC	1,7	1,5	40
<i>Significatività</i> ⁽¹⁾	ns	ns	*

⁽¹⁾ Significatività dell'F: n.s. e *, rispettivamente, non significativo e significativa per $P < 0,05$.

Un altro aspetto che sta alla base dell'interesse nei confronti della SUBinC riguarda la semplicità con cui è possibile gestire la SN. Mentre con altri sistemi senza suolo la SN che fuoriesce dal vaso (drip) o quella ricircolante (NFT) si modifica rispetto alla SN 'fresca', sia nella concentrazione che nei rapporti molari tra i nutrienti, in conseguenza dell'assorbimento selettivo messo in atto dalle radici delle piante, nel caso della SUBinC. Proprio per i meccanismi di risalita capillare descritti, la SN ricircolante si modifica molto poco. In pratica, l'incremento di CE che dovrebbe verificarsi nella SN ricircolante avviene all'interno del vaso, e in particolare nel terzo superiore del substrato (Serio *et al.*, 2001; Santamaria *et al.*, 2003). L'eventuale innalzamento di CE nella SN ricircolante può essere associato all'evaporazione dell'acqua durante il passaggio della SN nelle canalette. Per questo, è sempre opportuno predisporre dei teli per ricoprire il lume della canaletta, in modo da rallentare tale fenomeno, evitando però che la canaletta resti bagnata tra un intervento fertirriguo e l'altro.

Tabella 5 - Consumo ed efficienza d'uso dell'acqua (WUE) del pomodoro (cv. Kabiria) coltivato con la subirrigazione in canaletta SUNinC e in NFT.

Sistema	Consumo (L/pianta)	WUE (g/L)
NFT	65	26
SUBinC	54	31
<i>Significatività</i> ⁽¹⁾	*	**

⁽¹⁾ Significatività dell'F: * e **, rispettivamente, $P < 0,05$ e $0,01$.

Se consideriamo l'andamento della concentrazione di due ioni poco assorbiti dalle piante, quali il sodio e il cloro (che quindi

tendono per motivi fisiologici ad accumularsi nella SN), è possibile notare che nel caso della SUBInC la concentrazione di questi due ioni nella SN ricircolante rimane pressoché costante nel corso del ciclo colturale e vicina a quella della SN 'fresca'. Con l'NFT, invece, i due ioni tendono ad accumularsi ed è possibile controllare la CE della SN soltanto diluendo la SN che si aggiunge (fig. 6).

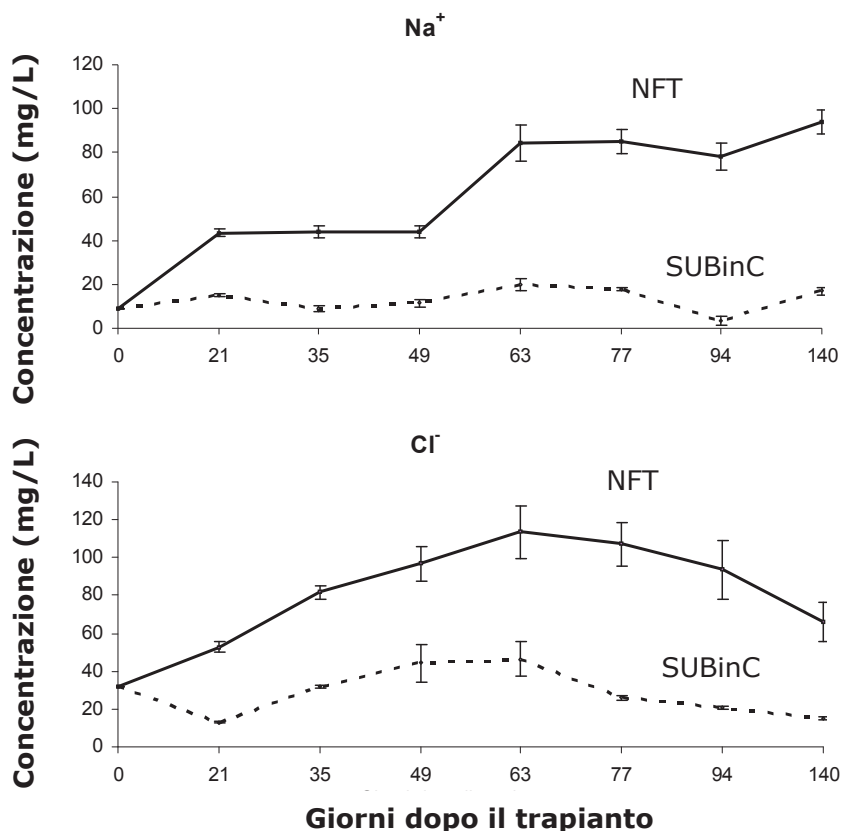


Figura 6 - Variazione della concentrazione di Na⁺ e Cl⁻ nella soluzione nutritiva ricircolante nella subirrigazione in canaletta (SUBInC) e nell'NFT. Le barre verticali rappresentano \pm ES delle medie (n=3).

Tutto ciò comporta una diversa modalità di gestione della SN: con la SUBInC è possibile reintegrare i consumi determinati dall'evapotraspirazione semplicemente con SN di nuova preparazione; con il secondo sistema è necessario ricorrere ad analisi chimiche della SN per individuare le concentrazioni degli ioni nella SN ricircolante e compensarle fino a quando non si

supera la soglia di fitotossicità, oltre la quale è necessario sostituire la SN. La stabilità della composizione della SN nella SUBinC e la variabilità della concentrazione dei nutrienti della SN ricircolante in un sistema NFT sono illustrate in un caso studio riportato in figura 7.

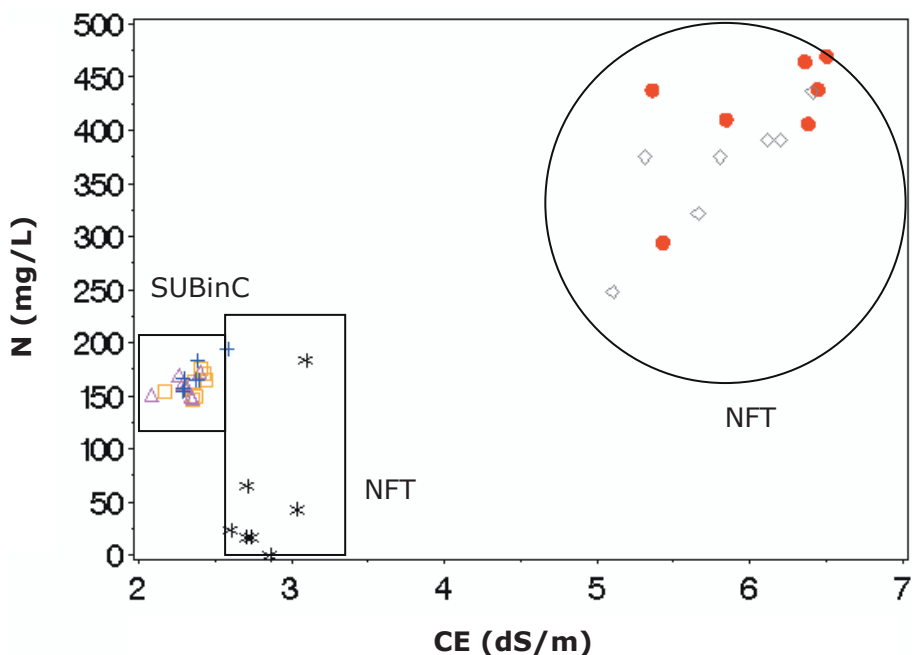


Figura 7 – Concentrazione dell’azoto e conducibilità elettrica (CE) della soluzione nutritiva in due sistemi di coltivazione senza suolo a ciclo chiuso: la subirrigazione in canaletta (SUBinC) e l’NFT. I punti rappresentati provengono da una prova sperimentale con due cultivar di pomodoro, due tensioni dell’acqua o due CE della soluzione nutritiva. Nella SUBinC, a prescindere dalla tensione e dalla cultivar di pomodoro presa in esame, i valori sono concentrati in un intervallo molto piccolo; nell’NFT i valori si distribuiscono in intervalli più ampi con valori bassi o alti a seconda della forza della soluzione nutritiva.

L’accumulo di sali nello strato più superficiale del substrato potrebbe creare problemi soprattutto nel caso di riutilizzazione del substrato, con lo stress salino sulle piantine appena trapiantate. Al tempo stesso, nello strato inferiore la CE è simile a quella della SN

lasciando intravedere la possibilità di utilizzare, con questo sistema, anche acque moderatamente saline (Elia *et al.*, 2003).

Conclusioni

I vantaggi che hanno stimolato l'interesse nei confronti di questa tecnica senza suolo sono numerosi. Oltre al risparmio di acqua e fertilizzanti e, quindi, al minor impatto ambientale, va considerata soprattutto la semplicità di gestione della SN. La possibilità di reintegrare i consumi aggiungendo semplicemente SN di nuova preparazione ('fresca'), senza la necessità di ricorrere ad analisi costose, ma monitorando parametri molto semplici quali il pH e la CE, rende la tecnica alla portata di qualunque azienda agricola che intenda convertire i propri impianti di coltivazione senza suolo verso il ciclo chiuso, anche con l'obiettivo di innalzare l'ecocompatibilità della tecnica rendendola più "rispettosa" dell'ambiente. Non vanno però trascurati alcuni aspetti problematici della tecnica. In particolare, la difficoltà di riutilizzare il substrato a causa dell'accumulo di sali nello strato più superficiale.

Bibliografia

- Adams P., 1991. Effects of increasing the salinity of the nutrient solution with major nutrients or sodium chloride on the yield, quality and composition of tomatoes grown in rockwool. *J. Hort. Sci.*, 66, 201-207.
- Bacci L., Checcacci E., 2004. Il pilotaggio dell'irrigazione nelle colture florovivaistiche. In: Pardossi A., Incrocci L., Marzalletti P., *Uso razionale delle risorse nel florovivaismo (III): l'acqua (Manuale IDRI). ARSIA (Serie quaderni) Regione Toscana, Firenze*, 147-155.
- Cox D.A., 2001. Growth, nutrient content, and growth medium electrical conductivity of poinsettia irrigated by subirrigation or from overhead. *J. Plant Nutr.*, 24, 523-533.
- Cuartero J., Fernandez-Munoz R., 1999. Tomato and salinity. *Scientia Hort.*, 78, 83-125.
- Elia A., Parente A., Serio F., Santamaria P., 2003. Some aspects of the trough bench system and its performance in cherry tomato production. *Acta Hort.*, 614, 161-166.

- Fonteno W.C., 1996. Growing media: types and physical/chemical properties. In: Water, media and nutrition for greenhouse crops (Ed. D.W. Reed), Ball Publishing Book, Batavia, USA, 93-122.
- Gruda N., Schnitzler W.H., 2004. Suitability of wood fiber substrate for production of vegetable transplants. I. Physical properties of wood fiber substrates. *Sci. Hortic.*, 100, 309-322.
- Incrocci L., Malorgio F., Della Bartola A., Pardossi A., 2006. The influence of drip irrigation or subirrigation on tomato grown in closed-loop substrate culture with saline water. *Sci. Hortic.*, 107, 365-372.
- Karlovitch P.T., Fonteno W.C., 1986. Effect of soil moisture tension and soil water content on the growth of chrysanthemum in 3 container media. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 111, 191-195.
- Lenzi A., Rinaldi M., Biocca M., Maletta M., Pergola G., 1998. Substrati e volumi di fertirrigazione in coltura senza suolo. *Culture Protette*, 27 (12, supplemento), 34-38.
- Mininni C., 2007. Effetti dello stress idrico su produzione e qualità del pomodoro allevato con la tecnica della subirrigazione in canaletta. Tesi di Laurea, Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Bari, 105 p.
- Minuto A., Gullino M. L., Garibaldi A., 2005. La gestione delle problematiche fitosanitarie all'interno di sistemi di coltivazione senza suolo. *Informatore Fitopatologico*, 55 (12), 13-18.
- Montesano F., Parente A., Santamaria P., 2004. La subirrigazione in serra. In: Pardossi A., Incrocci L., Marzietti P., *Uso razionale delle risorse nel florovivaismo (III): l'acqua (Manuale IDRI). ARSIA (Serie quaderni) Regione Toscana, Firenze, 203-213.*
- Montesano F., Santamaria P., Serio F., Signore A., 2007. La subirrigazione delle colture in contenitore. In: *I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso (a cura di P. Santamaria), Aracne Editrice, Roma, 15-28.*
- Niedzela, C.E., Nelson, P.V., 1992. A rapid method for determining physical properties of undisturbed substrate. *HortScience*, 27, 1279-1280.
- Parente A., Santamaria P., 2003. Con il tensiometro irrigazione su misura. *Culture Protette*, 22 (7), 41-46.
- Reed D.W., 1996. Closed production system for containerized crops: recirculating subirrigation and zero-leach systems. In: Water, media and nutrition for greenhouse crops (Ed. D.W. Reed), Ball Publishing Book, Batavia, USA, 221-245.
- Rouphael Y., Colla G., 2005. Growth, yield, fruit quality and nutrient uptake of hydroponically cultivated zucchini squash as affected by irrigation systems and growing seasons. *Sci. Hortic.*, 105, 177-195

- Rouphael Y., Colla G., Battistelli A., Moscatello S., Proietti S., Rea E., 2004. Yield, water requirement, nutrient uptake and fruit quality of zucchini squash grown in soil and closed soilless culture. *J. Hort. Sci. Biotechnol.*, 79, 423-430.
- Santamaria P., Cantore V., Conversa G., Serio F., 2004. Effect of night salinity level on water use, physiological responses, yield, and quality of tomato. *J. Hort. Sci. Biotechnol.*, 79, 59-66.
- Santamaria P., Campanile G., Parente A., Elia A., 2003. Subirrigation vs drip-irrigation: Effects on yield and quality of soilless grown cherry tomato. *J. Hort. Sci. Biotechnol.*, 78, 290-296.
- Santamaria P., Parente A., Serio F., Buttaro D., Montesano F., Ferulli C., 2005. Effetti della tensione dell'acqua su produzione e qualità del pomodoro allevato a ciclo chiuso. *Informatore Fitopatologico*, 55 (12), 19-22
- Santamaria P., Serio F., 2001. Coltivazione a ciclo chiuso: la subirrigazione in canaletta. *Infotore Agrario*, 52 (41), 45-49.
- Serio F., Santamaria P., Elia A., Parente A., Zilli P., 2001. Salinità, asportazione dei macronutrienti e produzione del pomodoro allevato senza suolo a ciclo chiuso. *Italus Hortus*, 8 (3), 55-60.
- Serio F., Ayala O., Bonasia A., Santamaria P., 2006. Antioxidant Properties and Health Benefits of Tomato. *Recent Progress in Medicinal Plants Vol.13 - Search for Natural Drugs*, 159-179.
- Stanghellini M.E., Nielsen C.J., Kim D.H., Rasmussen S.L., Rorbaugh P.A., 2000. Influence of sub- versus top-irrigation and surfactants in a recirculating system on disease incidence caused by *Phytophthora* spp. in potted pepper plants. *Plant Dis.*, 84, 1147-1150.
- Venezia A., Martignon G., Quattrini E., Parente A., 1999. *Gerbera*, coltivazione in vaso per subirrigazione. *Colture Protette* 29 (2), 95-101.
- Venezia A., Tonini A., Schiavi M., 2001. Subirrigazione in vaso a confronto con l'NFT per peperone e melanzana. *Italus Hortus*, 8 (6), 39-43.

La gestione della fertilizzazione nei sistemi con subirrigazione

Marc VAN IERSEL*

*Il capitolo in lingua originale può essere scaricato dal sito <http://norba.ba.cnr.it/>.
Traduzione a cura di F. Montesano

Cosa rende diversa la subirrigazione?

I sistemi di subirrigazione si differenziano dagli altri per il modo in cui l'acqua è distribuita al substrato. Come si evince dal nome, i sistemi di subirrigazione comportano la distribuzione dell'acqua nel substrato dal basso, piuttosto che dall'alto. Quando l'acqua è applicata alla parte alta del substrato, la forza di gravità la fa muovere verso il basso e l'eventuale liquido in eccesso fuoriesce dal fondo del vaso - vedi Reed (1996) per una descrizione dettagliata delle tecniche di subirrigazione.

Poiché le colture di serra sono generalmente fertilizzate con sali idrosolubili, tutta l'acqua che fuoriesce dal contenitore contiene fertilizzanti. Per questo motivo, il drenaggio può aiutare a rimuovere dal substrato i sali fertilizzanti eventualmente in eccesso, tanto che, negli USA, l'indicazione generale per gli operatori del settore è di prevedere una frazione di drenaggio intorno al 20%, nel caso di irrigazione dall'alto. Sebbene sia discutibile se una frazione di drenaggio così elevata sia realmente necessaria, questa rimane la pratica comune. Un drenaggio eccessivo può comportare effetti negativi sull'ambiente, poiché i fertilizzanti, soprattutto quelli a base di azoto e fosforo, possono contribuire all'eutrofizzazione (Schindler, 2006).

L'approccio tipico dei sistemi di subirrigazione è quello di distribuire l'acqua alla base dei contenitori di coltivazione riempiendo un bancale, il pavimento in cemento o altri moduli di coltivazione che possono contenere l'acqua. Il fondo dei vasi rimane immerso nell'acqua di irrigazione per un certo periodo di tempo, spesso intorno ai 15 minuti, durante il quale il substrato assorbe l'acqua. Sebbene solamente la parte inferiore del vaso e del substrato siano effettivamente a contatto con l'acqua, quest'ultima risale e si distribuisce nel substrato attraverso l'azione

della capillarità. L'altezza che raggiunge l'acqua mossa dalla risalita capillare dipende essenzialmente dalla dimensione dei pori presenti nel substrato; quanto minore è il diametro dei pori tanto più in alto potrà muoversi l'acqua (Fonteno, 1996).

Al termine di ogni intervento di subirrigazione, l'acqua rimasta nel modulo di coltivazione viene fatta confluire in un serbatoio di raccolta e riutilizzata nelle irrigazioni successive. Il livello della soluzione fertirrigua nel serbatoio viene periodicamente ricostituito aggiungendo, in modo automatico o manuale, l'acqua e i fertilizzanti necessari. Poiché la soluzione fertilizzante in eccesso nei moduli di coltivazione viene ogni volta raccolta e riutilizzata, i sistemi di subirrigazione sono "a ciclo chiuso": nessuna quantità di acqua e fertilizzanti usati viene scaricata nell'ambiente. Esistono esempi di agricoltori che hanno utilizzato la subirrigazione per oltre 20 anni, senza mai scaricare nell'ambiente acqua o fertilizzanti.

Il movimento dell'acqua nel substrato, che caratterizza la subirrigazione rispetto all'irrigazione tradizionale dall'alto, comporta importanti implicazioni anche sul movimento dei sali fertilizzanti: poiché essi sono idrosolubili, si muovono nella stessa direzione dell'acqua. Di conseguenza, l'acqua distribuita con l'irrigazione dall'alto comporterà il movimento verso il basso dei sali e, in caso di drenaggio, l'allontanamento di questi ultimi insieme all'acqua drenata. Con la subirrigazione non si verifica il drenaggio, pertanto i sali non possono essere allontanati dal substrato e tendono ad accumularsi in esso. L'evaporazione dell'acqua dalla superficie del substrato comporta il movimento verso l'alto di acqua e fertilizzanti, dallo strato mediano e/o inferiore a quello superiore. Pertanto, nelle piante subirrigate, l'acqua si muove continuamente dal fondo alla parte superiore del vaso. Dal momento che i sali fertilizzanti si muovono con l'acqua, essi tendono ad accumularsi nello strato superiore del mezzo di coltivazione: quando l'acqua evapora, i sali rimangono nel substrato (Argo e Biernbaum, 1995; van Iersel, 2000).

La concentrazione dei sali nel substrato o nella soluzione nutritiva può essere quantificata misurando la conducibilità elettrica (CE): gli ioni dei sali fertilizzanti possono condurre elettricità, quindi maggiore è la concentrazione del fertilizzante maggiore sarà la CE (Nelson, 1996). La figura 1 mostra come può variare la CE nei diversi strati del substrato.

Il verificarsi di un tale gradiente di CE viene descritto come "stratificazione dei sali". A causa della stratificazione dei sali, il livello di CE nella parte superiore del substrato può raggiungere livelli molto più alti di quelli ottimali per la crescita delle piante.

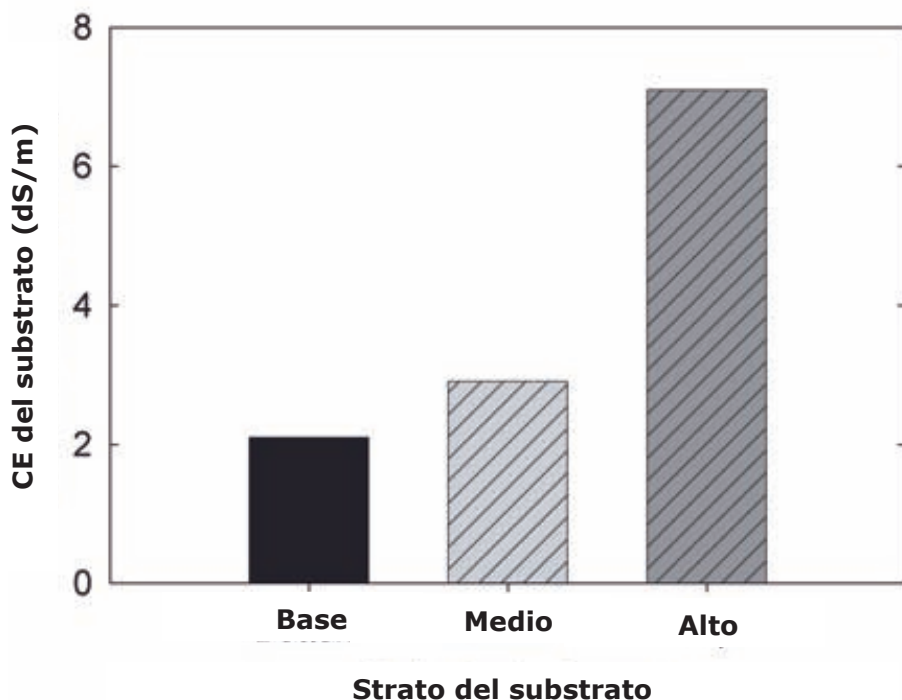


Figura 1 - Tipica stratificazione dei sali nello strato inferiore, mediano e superiore del substrato delle piante allevate con subirrigazione. La conducibilità elettrica (CE) è stata misurata con il metodo dell'estratto saturo (SME).

Comunque, l'accumulo dei sali nello strato superficiale del substrato generalmente non comporta danni alle piante, poiché la maggior parte dell'apparato radicale delle piante subirrigate si concentra nella parte bassa del substrato (foto 1). Pertanto, le radici non sono esposte alle elevate condizioni di salinità che si possono riscontrare nello strato superiore del mezzo di coltivazione.

Il controllo del livello dei fertilizzanti nel substrato

Poiché la maggior parte della radici delle piante subirrigate cresce nella porzione inferiore del substrato (Argo e Biernbaum, 1995), è fondamentale che quella parte del mezzo di coltivazione contenga

- I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso -



Foto 1 - Come è possibile vedere in questa pianta di peperone ornamentale, le radici delle piante subirrigate si sviluppano essenzialmente nella parte bassa del contenitore. Per questo, le radici non sono esposte all'accumulo di sali che si verifica nella parte alta del substrato.

una quantità di nutrienti sufficiente per un buon sviluppo delle piante. Inoltre, è importante che l'acidità del substrato (pH) si mantenga all'interno dell'intervallo ottimale per la pianta. In particolare, il pH deve essere tenuto sotto controllo perché influenza la disponibilità per la pianta di alcuni nutrienti. E' soprattutto la disponibilità dei micronutrienti ad essere influenzata dal pH del substrato. La disponibilità della maggior parte dei micronutrienti diminuisce all'aumentare del pH. Ne possono derivare, di conseguenza, carenze da micronutrienti.



Foto 2 - Il metodo del percolato (*pour through method*) prevede l'irrigazione della coltura 1-3 ore prima della raccolta del percolato. Per raccogliere il campione di percolato, si posiziona una ciotola di raccolta sotto il contenitore e si versa, sulla superficie del substrato, una quantità di acqua sufficiente a raccogliere circa 50 mL di percolato. Il percolato viene successivamente trasferito in un *beaker* e se ne misura il pH e la CE con pHmetro e conduttimetro precedentemente calibrati.

Il problema più comune, a questo proposito, è la carenza di ferro, che provoca clorosi internervale delle foglie più giovani. Un sistema piuttosto semplice e veloce per tenere sotto controllo il pH e la CE dello strato inferiore del substrato è il metodo *pour-through* (foto 2).

Tale analisi può essere eseguita in serra e richiede attrezzature molto semplici. Questo lo rende uno strumento di facile applicazione per gli agricoltori per monitorare i livelli di fertilità del substrato. La prima cosa da eseguire nel metodo *pour-through* è

un'abbondante irrigazione delle piante, preferibilmente in modo da portare il substrato vicino alla saturazione, senza però avere drenaggio o avendone poco. Dopo 1-3 ore, si versa sulla superficie del substrato una quantità di acqua sufficiente a poter raccogliere circa 50 mL di soluzione di drenaggio. La quantità di acqua che è necessario versare per ottenere tale drenaggio varia in base alla dimensione del vaso (per contenitori più grandi sarà necessaria una quantità di acqua maggiore rispetto a quelli più piccoli).

Il principio alla base di questa tecnica di prelievo del percolato è che l'acqua che viene aggiunta alla superficie del substrato spingerà verso il basso l'acqua presente nella parte basale del substrato. Essa uscirà dal contenitore e potrà fornire una valida indicazione del pH e della quantità dei sali fertilizzanti presenti nello strato inferiore del substrato. E' opportuno non versare troppa acqua sul substrato, poiché tale acqua non è rappresentativa delle condizioni del substrato. Dal momento che il metodo *pour-through* consente di raccogliere soluzione circolante nella parte basale del substrato, si adatta particolarmente bene alle piante allevate in subirrigazione; la maggior parte delle loro radici, infatti, si concentra proprio in quella parte del vaso.

Una volta che il percolato è stato raccolto, il pH e la CE possono essere misurati con strumenti semplici. E' importante calibrare conduttimetri e pHmetri prima di utilizzarli. Se, infatti, essi non vengono correttamente calibrati, anche i risultati che forniscono saranno imprecisi. Per i conduttimetri è richiesta un'unica soluzione di calibrazione, mentre per i pHmetri ne sono necessarie due.

I valori di CE del drenato ottimali dipendono dai fabbisogni nutrizionali della coltura; linee guida per l'interpretazione dei risultati di questa analisi sono disponibili per molte colture di serra, in particolare per quelle di interesse ornamentale. Come indicazione generale, le colture ornamentali possono essere suddivise in tre gruppi: a basso, medio e alto fabbisogno di fertilizzazione, con valori ottimali compresi, rispettivamente, fra 1 e 2,6, 2 e 3,5 e 2,6 e 4,6 dS/m (Cavins *et al.*, 2000). E' possibile osservare una sostanziale sovrapposizione fra questi intervalli; la maggior parte delle colture possono crescere bene con valore di CE del percolato intorno a 2 dS/m. Comunque, per alcune colture, come ad esempio il pomodoro, valori più alti possono essere utili a migliorare la qualità del prodotto. Una valida trattazione inerente le linee guida per la CE del percolato per le colture ornamentali è stata pubblicata da Cavins *et al.* (2000).

La gestione della fertilizzazione basata sulla CE del percolato richiede la comprensione dei fattori che regolano tale parametro.

Poiché la CE è una misura della concentrazione dei sali fertilizzanti nel substrato, le applicazioni dei fertilizzanti (sia in termini di quantità che di frequenza) influenzeranno la CE del percolato. Le radici asportano i nutrienti dal substrato, comportando l'abbassamento della CE. Nel tempo, a causa dell'evaporazione dell'acqua dalla superficie del substrato e del movimento verso l'alto della soluzione circolante nel contenitore, alcuni nutrienti si muoveranno dalla parte inferiore a quelle mediana e superiore del vaso, abbassando la CE del percolato. La chiave per assicurare un'adeguata disponibilità di nutrienti è fare in modo che la CE del percolato rimanga entro i limiti ottimali per una determinata specie. Una tendenza all'abbassamento nel tempo delle CE del percolato indica che l'apporto di fertilizzanti non è sufficiente a reintegrare i sali nutrienti asportati dalla pianta o che si muovono nel contenitore verso l'alto per l'evaporazione portandosi fuori dalla zona di sviluppo dell'apparato radicale. Al contrario, l'aumento della CE del percolato indica che i sali si stanno accumulando nella parte inferiore del substrato e che, di conseguenza, troppi fertilizzanti (o troppi sali) sono presenti nell'acqua di irrigazione.

E' importante precisare che la misura della CE determina la quantità totale di ioni presenti nel percolato. Sia i sali fertilizzanti che quelli normalmente presenti nell'acqua usata per l'irrigazione contribuiscono alla CE del percolato. Ad esempio, in alcune aree l'acqua contiene elevate quantità di carbonato di calcio (calcare) o di cloruro di sodio (sale marino). Questo deve essere tenuto in debito conto nell'interpretazione dei valori di CE del percolato. E' importante conoscere la CE dell'acqua di partenza, senza l'aggiunta del fertilizzante. Ad esempio, se l'acqua di irrigazione ha una conducibilità di partenza di 1,0 dS/m e la CE del percolato è di 1,2 dS/m, è evidente che il contributo maggiore alla CE del percolato è dato dai sali presenti nell'acqua di partenza piuttosto che dai sali fertilizzanti. In questo caso, l'esigua differenza fra il valore di CE del percolato e quello dell'acqua di partenza indica che c'è una bassa disponibilità di nutrienti nella zona radicale e che sono necessarie dosi aggiuntive di fertilizzanti. In generale, quando l'acqua di partenza ha valori di CE elevati, la CE del percolato dovrebbe trovarsi verso il limite superiore degli intervalli precedentemente forniti, per assicurarsi che ci sia un rifornimento adeguato ad una buona crescita della coltura.

Le misurazioni di CE non costituiscono uno strumento esaustivo per monitorare la disponibilità di nutrienti nel substrato, in quanto non forniscono indicazioni su quali sali sono presenti. Infatti, se la soluzione fertilizzante non apporta i singoli nutrienti nel rapporto in cui essi vengono utilizzati dalla coltura, alcuni di essi possono

accumularsi nel substrato, mentre altri possono essere presenti in quantità esigue. Questo tipo di squilibrio nell'apporto di nutrienti non può essere rilevato dalla misura della CE del percolato. Può risultare utile completare questa misura con un'analisi completa dei nutrienti nei tessuti fogliari e/o nel substrato. Queste analisi possono dare informazioni molto utili su quali particolari nutrienti sono eventualmente presenti in quantità limitata per la crescita della pianta o, al contrario, in quantità eccessiva.

Poiché la CE del percolato troppo bassa è indice di una mancanza di nutrienti nel substrato, la misura da adottare è semplice: aumentare la concentrazione della soluzione fertilizzante. La conseguenza più comune dell'inadeguato apporto dei nutrienti è che la coltura mostrerà carenza di azoto; questo nutriente è richiesto in elevate quantità e le piante mostrano velocemente i sintomi di carenza quando l'azoto non è disponibile in misura adeguata. I sintomi della carenza da azoto sono simili per la maggior parte delle colture. Le foglie poste più in basso sulle piante diventeranno clorotiche e, nei casi più gravi, possono necrotizzare e distaccarsi dalla pianta (Bennett, 1996). Nelle fasi precedenti alla comparsa dei sintomi si può generalmente osservare una riduzione della crescita. Quindi la strategia appropriata è di non attendere, per la risoluzione dei problemi, che essi diventino visibili, ma al contrario prevenire che la sintomatologia si renda manifesta.

Quando si verifica la presenza eccessiva di nutrienti nel substrato e la CE del percolato è alta, può risultare molto più difficile riconoscere i sintomi. La CE elevata può comportare una serie di problemi, che vanno dalla possibile tossicità di un elemento o ione all'effetto osmotico causato dalla concentrazione totale dei sali nel substrato.

I sintomi di tossicità sono diversi per i vari ioni. Nelle aree costiere, dove l'acqua di mare può penetrare nella falda acquifera, gli elevati livelli di sodio sono un problema comune. Poiché le piante assorbono sodio, esso si accumula nelle foglie e la sua concentrazione nei tessuti sale nel tempo. Di conseguenza, i sintomi di tossicità da sodio si verificano in primo luogo nelle foglie più vecchie; esse sono state esposte all'accumulo di sodio per più tempo rispetto a quelle più giovani, quindi ne contengono livelli più elevati. Dal momento che il sodio spesso si accumula lungo i margini delle foglie, i sintomi sono visibili prima lungo i margini delle foglie più vecchie e appaiono come essiccamenti e necrosi.

Seri danni possono verificarsi anche senza avere tossicità da specifici nutrienti. Se la concentrazione totale dei nutrienti nel substrato è troppo alta (CE elevata), gli ioni tratterranno parte

dell'acqua nel substrato, rendendo più difficile l'approvvigionamento idrico da parte delle piante. Questa condizione viene definita "stress osmotico". Nei casi più gravi, lo stress osmotico può comportare necrosi marginale delle foglie e disseccamenti, ma può verificarsi una drastica riduzione della crescita molto tempo prima che tali sintomi siano manifesti.

Un processo rapidamente inibito dallo stress osmotico è l'allungamento fogliare, che comporta una ridotta dimensione delle foglie. Tralasciando la loro ridotta dimensione, queste foglie possono apparire perfettamente sane e l'analisi dei tessuti fogliari può non evidenziare alcun problema. Ciò può rendere questa situazione difficile da rilevare. Riduzioni nella crescita fogliare sono particolarmente problematiche per le piante di piccola taglia, in quanto comportano una diminuzione dell'assorbimento della luce da parte delle foglie e, di conseguenza, una ridotta capacità di fotosintesi e di sviluppo della pianta. Nelle piante adulte questo problema può essere di minore entità, perchè la luce non assorbita dalle foglie più giovani può essere eventualmente intercettata dalle foglie poste più in basso sulla pianta.

Dunque, qual è l'approccio ottimale per la gestione della fertilizzazione in un sistema di subirrigazione? Raccogliere il percolato e misurarne CE e pH fornisce senza dubbio utili informazioni che possono, in linea di massima, essere utilizzate per modificare le concentrazioni dei fertilizzanti, se necessario. Comunque, l'aggiustamento frequente della concentrazione della soluzione fertilizzante può non essere del tutto pratico. Per determinare se il ricorso ad aggiustamenti frequenti delle concentrazioni dei fertilizzanti può comportare una migliore crescita delle piante rispetto all'utilizzo di concentrazioni del fertilizzante costanti, abbiamo studiato la crescita di diverse piante da vasetteria (petunia, viola e begonia) allevate con differenti strategie di fertilizzazione (van Iersel e Kang, 2002). In un caso le piante sono state fertilizzate con la stessa concentrazione di fertilizzante per tutto il loro ciclo colturale, nell'altro abbiamo mantenuto la CE del percolato ad un livello costante durante tutto il periodo di allevamento. In totale, erano presenti 10 diversi trattamenti sperimentali: cinque diverse concentrazioni di fertilizzante (soluzioni fertilizzanti con CE di 0,5, 1,5, 2,5, 3,5, 4,5 e 5,5 dS/m, con concentrazioni di N variabili da 50 a 800 mg/L) e cinque diversi livelli-target di CE del percolato (0,5, 1,5, 2,5, 3,5, 4,5 e 5,5 dS/m). Per mantenere la CE del percolato costante, la concentrazione della soluzione fertilizzante è stata modificata a seconda che la CE del percolato fosse maggiore o minore rispetto al livello predefinito.

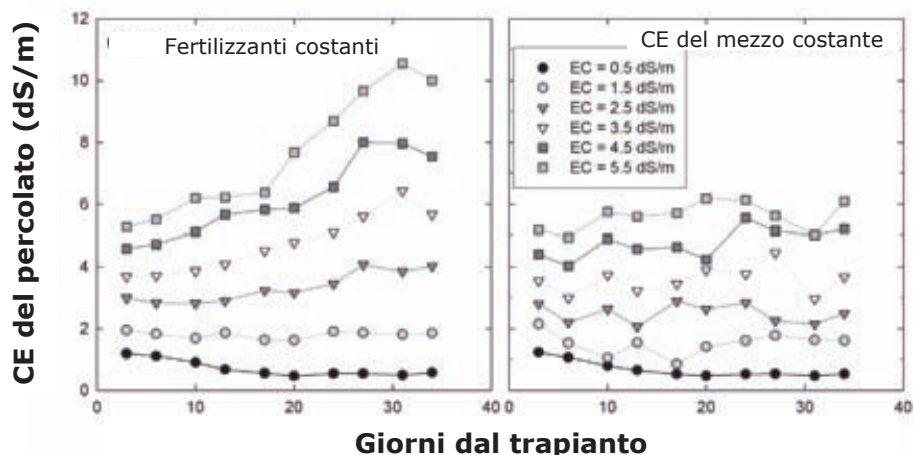


Figura 2 – Conducibilità elettrica (CE) del percolato di begonia fertilizzata con soluzioni nutritive a concentrazione costante, con CE variabile da 0,5 a 5,5 dS/m (grafico di sinistra), e CE del percolato di begonia avendo l'obiettivo di mantenere questo parametro costante nel tempo (con valori predefiniti di CE variabili da 0,5 a 5,5 dS/m, grafico di destra). L'aumento della CE del percolato indica un accumulo di sali nella parte inferiore del substrato e che, quindi, l'apporto di nutrienti è maggiore del necessario.

La figura 2 (grafico di sinistra) mostra che se la concentrazione della soluzione fertilizzante è costante durante il ciclo colturale, si possono riscontrare ampie variazioni della CE del percolato. Quella delle piante fertilizzate con soluzione nutritiva con CE di 0,5 dS/m è diminuita, mentre quella delle piante fertilizzate con soluzione nutritiva con CE di 2,5 dS/m o maggiore è aumentata costantemente durante l'esperimento. L'aumento della CE del percolato indica che la soluzione fertilizzante apportava una quantità di nutrienti maggiore rispetto a quella allontanata dallo strato inferiore in seguito all'asportazione da parte della pianta o al movimento verso la parte alta del substrato. Questo suggerisce che è stata usata una concentrazione dei nutrienti più elevata del necessario. Al contrario, la progressiva diminuzione della CE del percolato registrata quando la CE della soluzione nutritiva era di 0,5 dS/m, indica che la disponibilità dei nutrienti è diminuita nel tempo e che non veniva fornito alla coltura abbastanza fertilizzante.

Solamente nel trattamento in cui la CE della soluzione fertilizzante era di 1,5 dS/m la CE del percolato è rimasta costante durante l'intero esperimento. La costanza della CE del percolato indica che si è verificato un equilibrio fra la quantità di fertilizzante apportato e la quantità di nutrienti rimossi dalla parte inferiore del substrato, per azione dell'asportazione della pianta e della risalita verso l'alto.

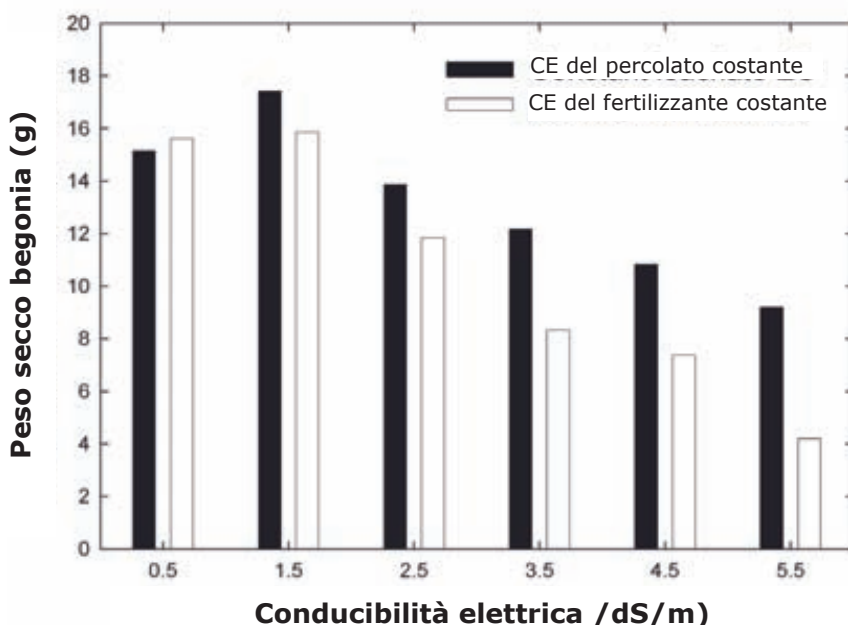


Figura 3 - Peso secco della parte epigea di begonia fertilizzata con concentrazioni della soluzione nutritiva costanti per tutto il ciclo colturale (barre bianche) o in cui la concentrazione è stata modificata nel tempo per tenere costante la CE del percolato (barre nere).

Confrontando tutti i trattamenti in cui le piante sono state irrigate con soluzione nutritiva a concentrazione costante durante tutto il ciclo colturale, la soluzione fertilizzante con CE di 1,5 dS/m ha prodotto i migliori risultati in termini di crescita delle piante (fig. 3).

Questo non ci sorprende, dal momento che la CE del percolato di questo trattamento è stata costante durante tutto il ciclo colturale, evidenziando l'equilibrio fra apporti e asportazioni.

Cosa emerge, in termini di sviluppo delle piante, dal confronto fra i trattamenti in cui la concentrazione della soluzione fertilizzante o la CE del percolato è stata mantenuta costante?

Questo parametro è stato simile fra i due trattamenti in cui, nell'ambito delle due strategie di fertilizzazione, si è registrata la migliore crescita delle piante (CE della soluzione = 1,5 dS/m e CE del percolato = 1,5 dS/m). Comunque, a livelli più alti di CE, lo sviluppo delle piante è stato inibito molto di più nei trattamenti in cui le piante sono state fertilizzate con soluzioni a livelli costanti di CE piuttosto che in quelli corrispondenti in cui la CE del percolato era costantemente alta. Ad esempio, il peso secco della parte epigea di begonia allevata con CE costante del percolato di 5,5 dS/m è stato di 9 g mentre nel trattamento in cui è stata utilizzata soluzione fertilizzante a CE costante di 5,5 dS/m è stato di 4 g. La crescita molto più stentata registrata in quest'ultimo caso è dovuta agli elevati livelli di accumulo dei sali nel substrato; la CE del percolato alla fine del ciclo colturale in questo trattamento è stata di 10 dS/m. Livelli di CE così alti possono causare un forte stress osmotico e ridurre drasticamente la crescita.

Un altro potenziale problema che si riscontra con elevati livelli di fertilizzazione è il verificarsi di squilibri fra la crescita radicale e quella della parte epigea delle piante (Kang e van Iersel, 2004). In presenza di elevate concentrazioni di fertilizzante, le piante non necessitano di apparati radicali molto sviluppati per approvvigionarsi di nutrienti. Questo può non rappresentare un grave problema per ortaggi di serra come il pomodoro o il peperone, mentre lo è per le piante ornamentali in vaso che sono successivamente trapiantate nell'ambiente. Queste piante possono stare bene durante la fase di produzione in serra, ma un apparato radicale poco sviluppato renderà difficoltosa la loro sopravvivenza una volta portate all'esterno.

In conclusione, la gestione della fertilizzazione nei sistemi di subirrigazione dovrebbe avere come obiettivo il rifornimento dell'ambiente radicale con un costante e adeguato apporto di nutrienti. Questo può essere tenuto sotto controllo attraverso la misura della CE del percolato. In generale, è possibile mettere a punto una soluzione fertilizzante appropriata che assicuri un adeguato apporto di nutrienti, senza causare l'accumulo dei sali nella parte inferiore del substrato. Gli aggiustamenti della forza della soluzione fertilizzante non sono necessari. Può essere necessaria qualche prova ed eventualmente qualche errore prima di trovare la concentrazione ottimale della soluzione fertilizzante per una particolare coltura, in quanto non tutte le specie hanno lo

stesso fabbisogno di nutrienti. Soluzioni nutritive troppo concentrate possono comportare accumulo di sali nel substrato e stress osmotico, con ripercussioni negative sullo sviluppo delle piante. Livelli di fertilizzazione troppo bassi riducono la crescita per inadeguata disponibilità dei nutrienti.

Bibliografia

- Argo W.A., Biernbaum J.A., 1995. The effect of irrigation method, water-soluble fertilization, preplant nutrient charge, and surface evaporation on early vegetative and root growth of poinsettia. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 120,163-169.
- Bennett W.F., 1996. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. APS Press, St. Paul, MN, USA.
- Cavins T.J., Whipker B.E., Fonteno W.C., Harden B., McCall I., Gibson J.L., 2000. Monitoring and managing pH and EC using the pourthru extraction method. Horticulture information leaflet 590. NC State cooperative extension service, Raleigh, NC, USA. www.ces.ncsu.edu/depts/hort/floriculture/hils/HIL590.pdf
- Fonteno W.C., 1996. Growing media: Types and physical/chemical properties. In: D.W. Reed (ed) Water, Media, and Nutrition for greenhouse crops. Ball Publishing, Batavia, IL, USA, 93-122.
- Kang J.G., van Iersel M.W., 2004. Nutrient solution concentration affects shoot:root ratio, leaf area ratio, and growth of subirrigated salvia (*Salvia splendens*). HortScience, 39, 49-54.
- Nelson P.V., 1996. Macronutrient fertilizer programs. In: D.W. Reed (ed) Water, Media, and Nutrition for greenhouse crops. Ball Publishing, Batavia, IL, USA, 141-170.
- Reed W.M., 1996. Closed production systems for containerized crops: Recirculating subirrigation and zero-leach systems. In: D.W. Reed (ed) Water, Media, and Nutrition for greenhouse crops. Ball Publishing, Batavia, IL, USA, 221-245.
- Schindler D.W., 2006. Recent advances in the understanding and management of eutrophication. Limnol. Oceanogr., 51, 356-363.
- van Iersel M.W., 2000. Post-production leaching affects the growing medium and respiration of subirrigated poinsettias. HortScience, 35, 250-253.
- van Iersel M.W., Kang J.G., 2002. Fertilization of bedding plants: constant fertilizer concentrations versus constant growing medium EC. Proceedings of the SNA research conference. Forty-seventh annual report, 23-27.

Un esempio di applicazione della subirrigazione in canaletta

Angelo PARENTE, Francesco SERIO, Rita CIANFARRA

Introduzione

La possibilità di diffondere presso gli agricoltori nuove tecniche di produzione, quali quelle senza suolo, è spesso legata alla realizzazione di 'impianti pilota', all'interno di comprensori di riferimento da utilizzare come strutture dimostrative per gli operatori del settore.

Con questo obiettivo è stato realizzato dall'Agenzia Regionale per i Servizi di Sviluppo Agricolo Abruzzese (ARSSA) un impianto dimostrativo per la produzione di ortaggi con sistemi di produzione senza suolo a "ciclo chiuso", finanziato con le risorse del Progetto "Sperimentazione di sistemi di coltivazione senza suolo a ciclo chiuso" confluito nel Progetto Interregionale "Trasferimento di Innovazioni al Settore delle Colture Protette - Tecnologie ecocompatibili per produzioni orticole di qualità", che è stato curato dalla Regione Abruzzo - Dipartimento Agricoltura all'Agenzia - Servizio Sperimentazione Coordinamento Aziende Sperimentali ed Agrometeorologia UTO Lanciano con la consulenza e supervisione dell'Istituto di Scienze delle Produzioni Alimentari (ISPA) del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Bari.

Le iniziative hanno avuto come obiettivo principale la progettazione, la realizzazione e l'utilizzazione di un impianto di coltivazione senza suolo a ciclo chiuso di facile gestione e trasferibilità ad altre realtà produttive all'interno di un'azienda orticola prescelta tra quelle più rappresentative del comprensorio preso a riferimento (fascia costiera della provincia di Chieti). I ricercatori dell'ISPA hanno garantito la consulenza specialistica sia durante le fasi di progettazione e collaudo dell'impianto, sia nelle diverse fasi di conduzione delle prove dimostrative.

L'interesse dell'ARSSA per tale tipo di attività nasce dalla *"necessità di elaborare progetti di sperimentazione finalizzati alla diffusione di tecniche produttive innovative, sostenibili dal punto di vista ambientale e, al tempo stesso, funzionali all'ottenimento di*

produzioni con elevato profilo qualitativo, in grado di assicurare un ritorno economico soddisfacente alle aziende agricole.”

Nel settore dell'orticoltura protetta dell'Abruzzo, le problematiche che più frequentemente gli operatori si trovano ad affrontare da alcuni anni sono legate all'incidenza sempre più rilevante di patologie dell'apparato radicale che comportano elevate riduzioni della produzione e contrazione qualitativa del prodotto.

Tale contesto ha determinato la necessità di trovare nuove soluzioni operative rispetto a quelle adottate in passato, in grado di proporre al mercato produzioni con elevato standard qualitativo, sane, in grado di contenere l'impatto dell'attività produttiva sugli agroecosistemi. In questo senso è sembrata strategica l'idea di diffondere la tecnica della coltivazione senza suolo adottando soluzioni impiantistiche efficienti e, nei limiti del possibile, realizzabili con investimento contenuti.

Nella prima fase del lavoro è stata individuata un'azienda idonea a recepire la tecnica di coltivazione senza suolo nella versione del "ciclo chiuso", sia pure nell'assetto di più semplice gestione. A tale scopo è stata prescelta dall'ARSSA l'Azienda Agricola Piattelli, sita nel comune di Miglianico (CH), in quanto, oltre che rappresentativa della realtà del comprensorio, risultava già in possesso di esperienza nella coltivazione senza suolo di fragola e pomodoro con sistemi a ciclo aperto.

Individuata l'azienda, i passi successivi sono stati:

- 1) la scelta del sistema a ciclo chiuso più idoneo da trasferire;
- 2) la progettazione dell'impianto al fine di adattarlo alle superfici aziendali disponibili.

La scelta del sistema senza suolo da adottare è ricaduta sulla 'subirrigazione in canaletta' soprattutto per la semplicità di gestione della soluzione nutritiva (SN) come riportato da numerose ricerche condotte sull'argomento (Santamaria e Serio, 2001; Montesano *et al.*, 2004; Santamaria *et al.*, 2005; Parente *et al.*, 2007; Montesano *et al.*, 2007).

La struttura e la preparazione dell'ambiente di coltivazione

L'impianto dimostrativo è stato realizzato in una serra-tunnel di 9,0 m di larghezza, 50 m di lunghezza e 3,8 m di altezza di colmo (superficie utile pari a 450 m²), coperta con un film plastico flessibile in polietilene a lunga durata (foto 1). Prima della posa in opera delle attrezzature, il terreno all'interno della struttura è stato

- I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso -

compattato e livellato in modo da assicurare una pendenza di circa l'1% alle canalette.

Appendice fotografica



Foto 1 - Fase di preparazione della serra in cui è stato realizzato l'impianto dimostrativo.

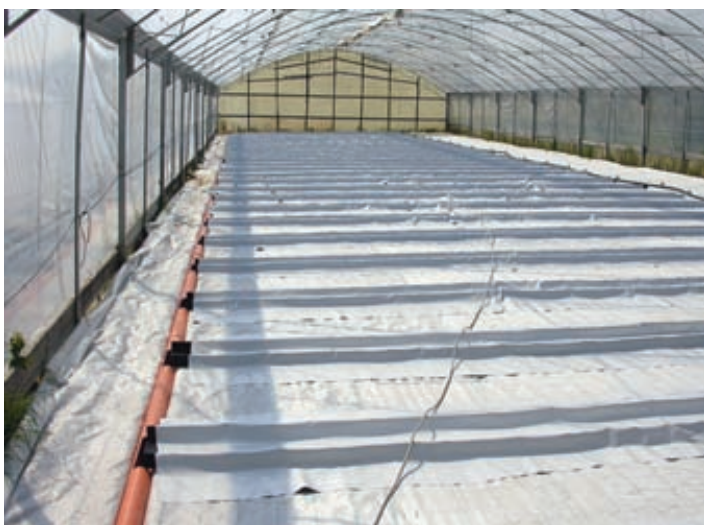


Foto 2 – Pacciamatura della superficie della serra e posizionamento delle canalette.

- I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso -



Foto 3 – Utilizzazione del film di polietilene bianco/nero.



Foto 4 - Utilizzazione del film di polietilene bianco/nero.

- I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso -



Foto 5 – Particolare del sistema adottato per la raccolta della soluzione nutritiva a valle delle canalette e per il suo convogliamento al serbatoio di raccolta.

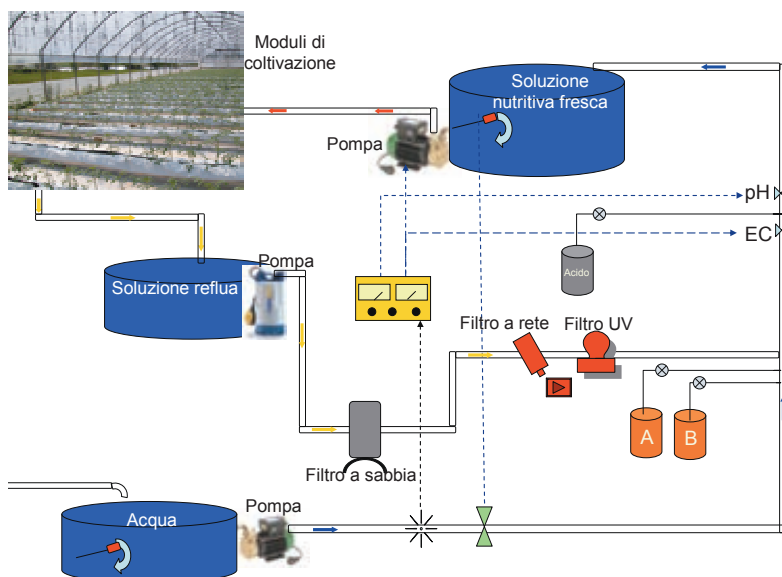


Figura 1 – Schema dei componenti e dei collegamenti funzionali dell'impianto della subirrigazione. Le frecce indicano la direzione del flusso della soluzione nutritiva.

- I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso -



Foto 6 – Serbatoio di stoccaggio della soluzione nutritiva prima dell’invio ai moduli di coltivazione. Nella foto sono visibili le pompe di invio della soluzione nutritiva alle canalette.

- I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso -



Foto 7 – Particolare delle canalette.

- I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso -



Foto 8 – Sistema di raccolta e invio al serbatoio della soluzione nutritiva reflua.

- I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso -



Foto 9 – Serbatoio per il temporaneo stoccaggio della soluzione nutritiva proveniente dalle canalette.



Foto 10 – Filtri a sabbia.

- I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso -

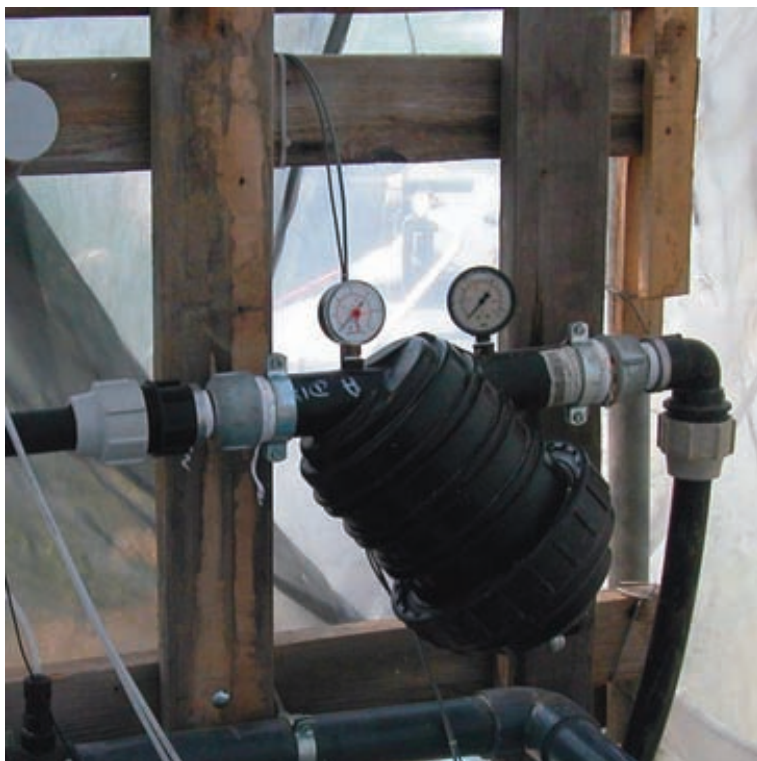


Foto 11 – Filtro a rete.

- I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso -



Foto 12 – Lampada UV.

- I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso -



Foto 13 – Serbatoio contenente acido nitrico. Nella foto sono visibili anche la pompa d’iniezione dell’acido nella condotta e le sonde di misura della CE e del pH.

- I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso -



Foto 14 – Particolare del contaltri lanciaimpulsi e delle elettrovalvole.

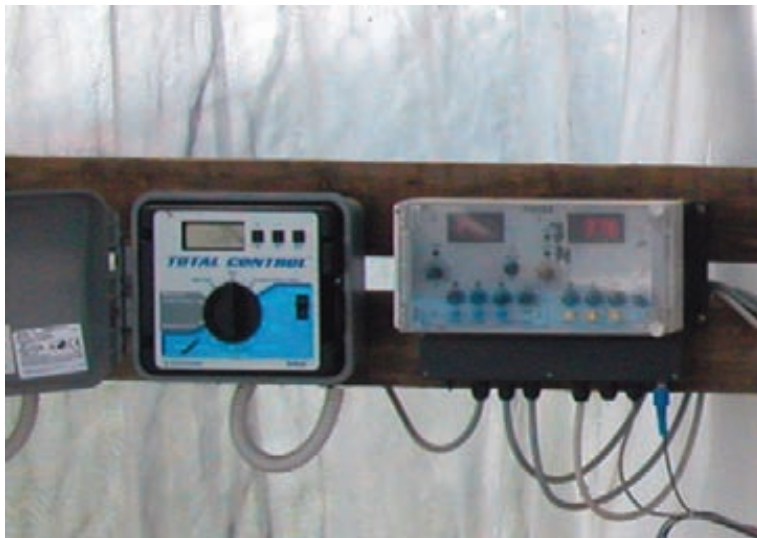


Foto 15 – Particolare delle centraline di controllo delle pompe dosatrici e di gestione della fertirrigazione.

- I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso -

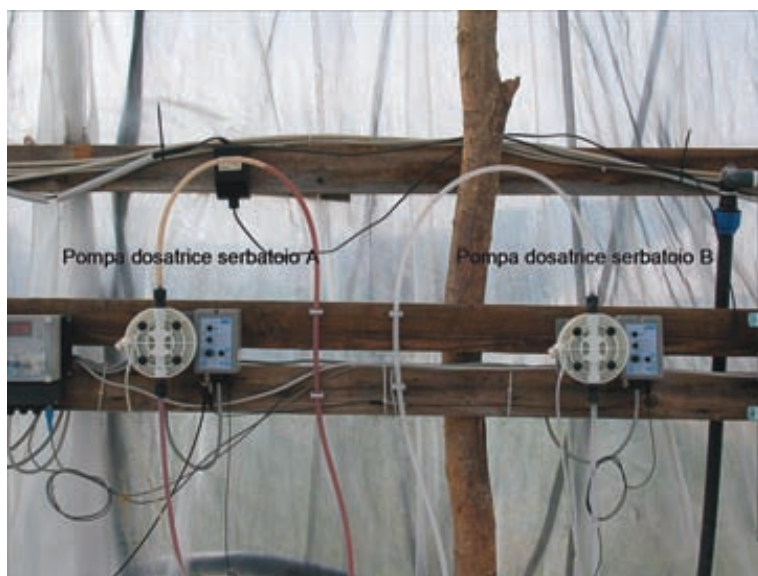


Foto 16 - Pompe dosatrici per il prelievo della soluzione concentrata dal serbatoio "A" e dal serbatoio "B".



Foto 17 – Effetti dell’aggiunta estemporanea alla soluzione nutritiva di una non meglio identificata miscela di sostanze antiparassitarie.

Tutta la superficie è stata ricoperta con un telo pacciamante bianco "antialga" in modo da separare l'ambiente di coltivazione dal terreno sottostante, evitando possibili inquinamenti del sistema senza suolo da parte di patogeni tellurici (foto 2).

Sul piano così realizzato sono state appoggiate delle canalette in acciaio inox lunghe 7 m e larghe 22 cm, con rialzi di 7 cm, in grado di accogliere vasi con volume nominale di 6,5 L. Il lume delle canalette, prima del posizionamento dei vasi, è stato ricoperto con un telo in PVC bianco-nero, sia per evitare il contatto diretto della SN con il metallo sia, nel corso del ciclo colturale, per ridurre le perdite di acqua per evaporazione e il surriscaldamento dei substrati di coltura durante le ore più calde (foto 3 e 4). Contemporaneamente è stato realizzato il sistema di recupero della SN circolante raccordando opportunamente l'estremità di ciascuna canaletta ad un collettore di pvc opportunamente sagomato (foto 2 e 5).

Progettazione dell'impianto

La progettazione dell'impianto ha comportato la necessità di risolvere alcune problematiche connesse al passaggio della tecnica da una dimensione a scala ridotta, più vicina ad un'impostazione di tipo sperimentale, ad una applicativa in scala più ampia. In particolare, il primo aspetto definito è stato il dimensionamento dell'impianto in funzione del numero di piante. Altrettanta importanza ha assunto la scelta dei dispositivi di automazione che dovevano presentare la duplice prerogativa della semplicità di gestione per l'operatore e dell'affidabilità di funzionamento e accuratezza di dosaggio delle SN madre.

Un aspetto di cui si è tenuto conto nella fase di progettazione dell'impianto è stato quello di rendere modulare il sistema, così da consentire la gestione contemporanea di altri moduli produttivi di dimensioni simili (coltivati ovviamente con la stessa specie) semplicemente integrando l'impianto esistente con ulteriori elettrovalvole.

In definitiva, l'impianto della "subirrigazione in canaletta" risulta costituito da: serbatoi, elettropompe, canalette, sonde per la misura del pH e della conducibilità elettrica (CE), pompe volumetriche, filtri, centralina di comando, tubazioni, raccorderia e valvole a sfera per realizzare l'immissione nei moduli di coltivazione e il recupero della SN. Una rappresentazione schematica dell'impianto è riportata in figura 1.

Funzionamento dell'impianto

La SN necessaria all'alimentazione delle piante è contenuta in un serbatoio di 6.000 L (foto 6). Da questo, mediante un'elettropompa, comandata da una centralina elettronica, la SN viene inviata ai moduli di coltivazione (canalette - fig. 7), scorre per gravità all'interno delle canalette, grazie alla pendenza, raggiunge i collettori di raccolta, da cui viene inviata ad un secondo serbatoio, della capacità di 2.000 L, adibito alla raccolta della SN reflua (fig. 8 e 9). All'interno di quest'ultimo serbatoio è presente una pompa sommersa dotata di galleggiante; il dispositivo è programmato in modo tale che quando la SN raccolta raggiunge il volume massimo predefinito invia un impulso alla pompa affinché prelevi la SN dal serbatoio e la invii a quello di stoccaggio. Durante questo tragitto la SN reflua passa attraverso due filtri a sabbia, un filtro a dischi ed, infine, attraverso una lampada UV (foto 10, 11 e 12). I filtri hanno la funzione di allontanare le impurità grossolane presenti nella SN; la lampada UV, invece, è utile per abbattere la carica patogena eventualmente presente nella SN ricircolante che, prima di essere inviata al serbatoio di stoccaggio, viene controllata per i parametri di pH e CE, eventualmente corretti mediante l'aggiunta di acido nitrico e/o acqua per riportarli negli intervalli prefissati (foto 13).

Quando all'interno serbatoio di stoccaggio la SN si riduce al di sotto di un volume limite prefissato (e soltanto durante le fasi di stasi dell'impianto), un galleggiante invia un impulso ad una elettrovalvola che apre il circuito di afflusso di acqua che, quindi, viene inviata al serbatoio mediante un'altra elettropompa. La quantità di acqua che viene immessa nel serbatoio è misurata tramite un conta litri lancia impulsi (foto 14) collegato ad una centralina che, a sua volta, aziona due pompe dosatrici (foto 15 e 16). Queste provvedono a prelevare le opportune quantità di SN concentrate dai serbatoi "A" e "B" contenenti i fertilizzanti necessari alla preparazione della SN finale. Infine, viene ancora una volta rilevato e corretto il pH e registrata la CE della SN di nuova preparazione, prima che venga inviata al serbatoio di stoccaggio (foto 13).

Per semplicità, la distribuzione della SN viene realizzata impostando, mediante la centralina, la frequenza e la durata degli interventi in funzione della fase fenologica delle piante e del periodo di svolgimento del ciclo colturale. È possibile però automatizzare il sistema ricorrendo a sonde di radiazione solare o a tensiometri collegati alla stessa centralina.

Utilizzazione dell'impianto

Il sistema è stato utilizzato per la coltivazione di diversi tipi di pomodoro. In particolare, sono state coltivate diverse cultivar di pomodoro ciliegino. Tra queste, 'Naomi' (Cois 94), 'Conchita' e 'Caramello' (De Ruiter) e 'Corbus' (Rijk Zwaan) hanno fornito risultati ritenuti soddisfacenti, sia dal punto di vista produttivo che qualitativo. Tra le cultivar insalatario, sono state scelte quelle più richieste dal mercato abruzzese (ad esempio, 'Petula'). I cicli colturali sono stati realizzati sia nel periodo estivo-autunnale che nel periodo primaverile-estivo, con trapianti effettuati ad agosto e fine marzo, rispettivamente. La densità di piante utilizzata è stata di 4 piante/m². Tra i diversi substrati quello che, nelle condizioni aziendali, è stato preferito dall'agricoltore, anche per la semplicità di preparazione, è risultato il miscuglio perlite:torba 2:1 v/v. Le produzioni per la tipologia ciliegino sono variate tra 2,5 e 2,8 kg/pianta.

Conclusioni

L'esperienza di trasferimento della tecnica della "subirrigazione in canaletta" nella realtà produttiva presa a riferimento ha consentito di raggiungere importanti obiettivi:

1) L'impianto realizzato ha gestito in maniera più che soddisfacente la nutrizione e l'irrigazione delle coltivazioni praticate all'interno del primo modulo produttivo (tunnel) di circa 500 m². Per tale ragione tale superficie è stata ampliata attraverso l'inserimento di nuovi "moduli" di coltivazione, semplicemente implementando le elettrovalvole in numero pari a quello dei moduli di coltivazione aggiunti. Secondo il nuovo assetto la centralina aziona in sequenza le elettrovalvole di erogazione della SN. Ovviamente, trattandosi della stessa SN, nei diversi moduli è stata coltivata un'unica cultivar, nello stesso periodo.

2) La gestione e il controllo del sistema, sia per la parte impiantistica, sia per la parte agronomica, non ha presentato particolari criticità e, per questo, sono stati facilmente trasferiti all'operatore.

3) Pur trattandosi di un "ciclo chiuso" non è stato necessario ricorrere a sofisticate analisi della SN nel corso dei diversi cicli colturali; la stessa, nei momenti di necessità, è stata integrata con SN di nuova preparazione (Parente *et al.*, 2007).

4) Nel corso delle attività sono state ottimizzate le modalità di esecuzione delle operazioni colturali in serra da parte degli operatori. Gli adeguamenti sono stati dettati dalla necessità del rispetto continuo e rigoroso di un protocollo di norme igienico-sanitarie nel corso dei diversi cicli di coltivazione e durante le fasi di disinfezione della struttura e delle attrezzature utilizzate tra un ciclo colturale ed il successivo, imprescindibili trattandosi di un sistema senza suolo a ciclo chiuso. Allo stesso modo sono state adeguate al nuovo contesto operativo le competenze degli operatori oltre che nei confronti della programmazione delle attività, soprattutto rispetto al controllo ed alla gestione degli impianti, in particolar modo dal punto di vista fitosanitario. Nel contesto della subirrigazione, ad esempio, sono da evitare aggiunte di miscele estemporanee di antiparassitari alla SN (foto 17) per non incorrere in possibili danni all'impianto e, soprattutto, a problemi di fitotossicità, considerando le scarse informazioni sugli effetti e le possibili interazioni dei principi attivi (e dei coadiuvanti presenti) nei sistemi senza suolo a ciclo chiuso.

Bibliografia

- Cianfarra R., Giangiulio C., 2004. Gestione della tecnica di coltivazione in "Fuori Suolo" – Manuale Tecnico per Operatori Orticoli - Meta s.r.l. Lanciano (CH).
- Montesano F., Parente A., Santamaria P., 2004. La subirrigazione in serra. In: Pardossi A., Incrocci L., Marzalletti P., Uso razionale delle risorse nel florovivaismo (III): l'acqua (Manuale IDRI). ARSIA (Serie quaderni) Regione Toscana, Firenze, 203-213.
- Montesano F., Santamaria P., Serio F., Signore A., 2007. La subirrigazione delle colture in contenitore. In: I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso (a cura di P. Santamaria), Aracne Editrice, Roma, 15-28.
- Parente A., Santamaria P., Serio F., 2007. La subirrigazione in canaletta. In: I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso (a cura di P. Santamaria), Aracne Editrice, Roma, 29-50.
- Santamaria P., Parente A., Serio F., Buttaro D., Montesano F., Ferulli C., 2005. Effetti della tensione dell'acqua su produzione e qualità del pomodoro allevato a ciclo chiuso. *Informatore Fitopatologico*, 55 (12), 19-22
- Santamaria P., Serio F., 2001. Coltivazione a ciclo chiuso: la subirrigazione in canaletta. *Infotore Agrario*, 52 (41), 45-49.

La subirrigazione in vaso con acque di scarsa qualità

Luca INCROCCI, Riccardo PULIZZI, Alberto PARDOSSI

Il problema delle risorse idriche

Nel settore dell'ortoflorovivaismo, sia protetto che di pieno campo, l'acqua è il fattore produttivo più importante, non potendo, evidentemente, essere surrogata da nient'altro. Inoltre, poiché la stragrande maggioranza delle specie ortoflovivaistiche presenta una scarsa resistenza alla salinità, la qualità dell'acqua irrigua deve essere buona.

Negli ultimi anni tre motivi hanno costretto le aziende ortoflorovivaistiche ad aggiornare le proprie tecnologie irrigue ed a rivedere anche le strategie di approvvigionamento idrico (captazione e reimpiego di acque piovane o di acque reflue depurate, impiego di desalinizzatori):

1) **la minore disponibilità di acqua**, anche per la crescente competizione per questa fondamentale risorsa da parte di altri settori produttivi (es. turismo), come ad esempio accade in Val di Cornea in Toscana, dove le limitate risorse idriche della zona, oltre per l'agricoltura, servono per l'industria e per soddisfare in parte le esigenze idriche dell'isola d'Elba;

2) **la progressiva salinizzazione** delle falde idriche. Il fenomeno è maggiormente evidente in prossimità delle zone costiere, dove spesso, per ragioni climatiche, si concentra anche la maggior parte della superficie ortofloricola italiana. La progressiva salinizzazione delle falde idriche in queste zone è causata dall'eccessivo sfruttamento di queste e la conseguente intrusione di acqua salmastra. Come esempio di questo fenomeno si può citare il caso della Versilia (Cavazza et. al., 2002) dove nel corso di 16 anni (dal 1982 al 1998) la conducibilità elettrica dell'acqua estratta dai pozzi della zona costiera si è innalzata di circa un 1 dS/m.

3) **una legislazione maggiormente rispettosa dell'ambiente** che sempre più impone ai coltivatori l'impiego di tecniche e tecnologie sostenibili. Ad esempio la direttiva Nitrati, che indirettamente, con l'obbligo di limitare la dispersione di nitrati nell'ambiente, sta costringendo gli agricoltori, oltre che ad adottare

più razionali piani di concimazioni, ad effettuare un attento pilotaggio dell'irrigazione con lo scopo di ridurre le perdite per lisciviazione.

Non è certo facile per le aziende combinare queste esigenze. Per ridurre la lisciviazione di fertilizzanti attraverso le acque di drenaggio ("*runoff* nutritivo"), occorre ridurre i volumi irrigui, spesso sovradimensionati rispetto alle effettive esigenze fisiologiche. Questa soluzione però, è difficilmente adottabile quando l'acqua irrigua a disposizione è salina poiché, per evitare la salinizzazione della zona radicale, occorre dilavare quest'ultima irrigando abbondantemente le colture. In questo caso, solo l'utilizzo di acqua piovana o desalinizzata può consentire di ridurre i consumi idrici ed il *runoff* nutritivo.

L'utilizzo delle tecniche di coltivazione a ciclo chiuso

I sistemi di coltivazione senza suolo sono un'innovazione di processo che può contribuire ad un maggiore controllo del *runoff* nutritivo. Per coltivazione senza suolo si intende una tecnica colturale in cui la pianta non è coltivata nel terreno tradizionale e in cui il rifornimento idrico-minerale avviene attraverso la somministrazione di una soluzione nutritiva. Normalmente dopo ogni irrigazione si ottiene dalla coltivazione (può essere in vasi, sacchi, lastre o bancali) un drenato il cui volume può oscillare da un minimo del 5-10% fino ad un massimo del 70-90% del volume irriguo fornito.

Tabella 1 - Risparmio idrico e nutritivo ottenuto con l'utilizzo del ciclo chiuso rispetto al ciclo aperto in una coltivazione di pomodoro fuori suolo con ciclo di 8 mesi, allevato nel sud della Francia (rielaborato da Baille, 1998).

	Acqua	N	P	K	Ca	Mg
	(m ³ /ha)	(kg/ha)				
Ciclo chiuso	8.990	848	246	1377	217	89
Ciclo aperto	11.950	1.897	457	2932	575	212
Risparmio (%)	25	55	46	33	62	58

Nel caso che questo drenato sia raccolto e riutilizzato, eventualmente dopo la sua correzione ed integrazione, si parla di ciclo chiuso, mentre nel caso contrario si parla di ciclo aperto.

Chiaramente il ciclo aperto, dal punto di vista ambientale, è difficilmente sostenibile, specie se il drenato viene abbandonato nell'ambiente tal quale. Ad esempio nella tabella 1 è riportato l'impatto ambientale di una coltura di pomodoro a ciclo aperto rispetto ad una con ciclo chiuso: con questo si ha il risparmio medio del 25% di acqua (la frazione di drenato persa dal ciclo aperto) e del 50% di fertilizzanti.

L'adozione del ciclo chiuso comporta, oltre che ad un maggior costo iniziale per le attrezzature necessarie per la raccolta e il pompaggio del drenato, due principali problemi:

a) **la necessità di attuare una disinfezione della soluzione nutritiva**; oggi sono disponibili vari sistemi, dalla pastorizzazione alla filtrazione lenta su sabbia, ciascuno con un proprio costo e uno specifico grado di protezione (una panoramica sull'argomento è contenuta all'interno di questo volume);

b) **maggiore complessità nella gestione del rifornimento idrico e minerale**, specie se si utilizzano acque ricche in elementi non essenziali.

Il controllo del rifornimento minerale nei sistemi chiusi

Una corretta impostazione del controllo della nutrizione minerale nel ciclo chiuso si deve basare sull'applicazione del bilancio minerale sulla soluzione nutritiva ricircolante totale (somma di quella presente nel serbatoio di raccolta e nel substrato): affinché la composizione della soluzione nutritiva non cambi, occorre che la somma degli input e degli output minerali nel sistema sia pari a zero.

Se si mantiene un drenaggio elevato in modo che non vi sia accumulo di sali nel substrato di coltivazione, si può ipotizzare, con sufficiente approssimazione, che la composizione della soluzione presente nel serbatoio di miscelazione sia rappresentativa di tutta la soluzione ricircolante.

Applicando il bilancio di massa, per ogni elemento la variazione della sua concentrazione nella soluzione nutritiva ricircolante in un intervallo di tempo n e $n-x$ (giorni) sarà:

$$(V * C_n) - (V * C_{n-x}) = (V_R * C_R) - (V_R * C_U) \quad (1)$$

dove:

V = volume totale della soluzione ricircolante;

C_n e C_{n-x} sono la concentrazione dell'elemento nella soluzione ricircolante alla fine e all'inizio del periodo;

V_R = volume perso dal sistema per evapotraspirazione;

C_R = concentrazione dell'elemento nell'acqua di irrigazione, comprensiva dell'eventuale iniezione di nutrienti fatta dal fertirrigatore;

C_U = concentrazione di assorbimento apparente, pari al rapporto fra la quantità di elemento assorbito dalla coltura (substrato-pianta-microbi) e l'acqua evapotraspirata. C_U non rappresenta un parametro fisiologico puro, bensì un parametro tecnologico, racchiudendo al suo interno oltre che il reale assorbimento di nutrienti da parte della pianta, le eventuali perdite per precipitazione e/o volatilizzazione (ad esempio la denitrificazione nel caso dell'azoto) (Carmassi *et al.*, 2005).

Se ipotizziamo di non volere cambiamenti nella concentrazione della soluzione nutritiva nel periodo n e $n-x$, allora l'equazione 1 si può semplificare come segue:

$$(V_R * C_R) = (V_R * C_U) \quad (2)$$

L'equazione 2 suggerisce alcune considerazioni:

1) per mantenere costante la concentrazione di un elemento nutritivo, occorre rabboccare l'evapotraspirato con una soluzione nutritiva avente concentrazione ionica il più simile possibile alla concentrazione di assorbimento;

2) l'uso di acque saline, contenenti alte quantità di sodio, comportano inevitabili accumuli di questo elemento nella soluzione nutritiva in quanto la concentrazione di assorbimento del sodio, pur dipendente dalla sua concentrazione nella soluzione ricircolante, è sempre molto bassa. Come conseguenza, se la concentrazione di elementi nutritivi rimane costante, l'accumulo di sodio porta ad un innalzamento progressivo della EC della soluzione ricircolante. Poiché detta EC non può superare la soglia di tolleranza massima della coltura, pena una riduzione della produzione, due sono le alternative a disposizione:

a) scaricare la soluzione ricircolante al raggiungere della EC massima (EC_{max}) ottenendo un sistema semi-chiuso con conseguente perdita di acqua e nutrienti;

b) utilizzare acque con minori quantità di sodio, attingendo da bacini di raccolta di acque piovane o utilizzando acque deionizzate con sistemi di osmosi inversa (come ad esempio viene fatto in Olanda).

Modalità di reintegrazione della soluzione nutritiva

La tecnologia attuale di controllo dei nutrienti presenti in una soluzione nutritiva si basa principalmente sulla misura della sua EC: tuttavia detto metodo non risulta efficiente, soprattutto se si utilizzano acque contenenti quantità rilevanti di elementi non-essenziali, come del resto si verifica in quasi tutto il Bacino del Mediterraneo.

Infatti, l'EC di una soluzione è strettamente correlata alla somma totale degli elementi nutritivi solo al momento della sua preparazione; successivamente si osserva un progressivo sbilanciamento dei rapporti tra i diversi elementi minerali a favore di quelli che, relativamente alle concentrazioni di partenza, vengono assorbiti in misura minore. La misura dell'EC non permette pertanto di stimare la concentrazione dei nutrienti presenti e impone periodiche analisi chimiche.

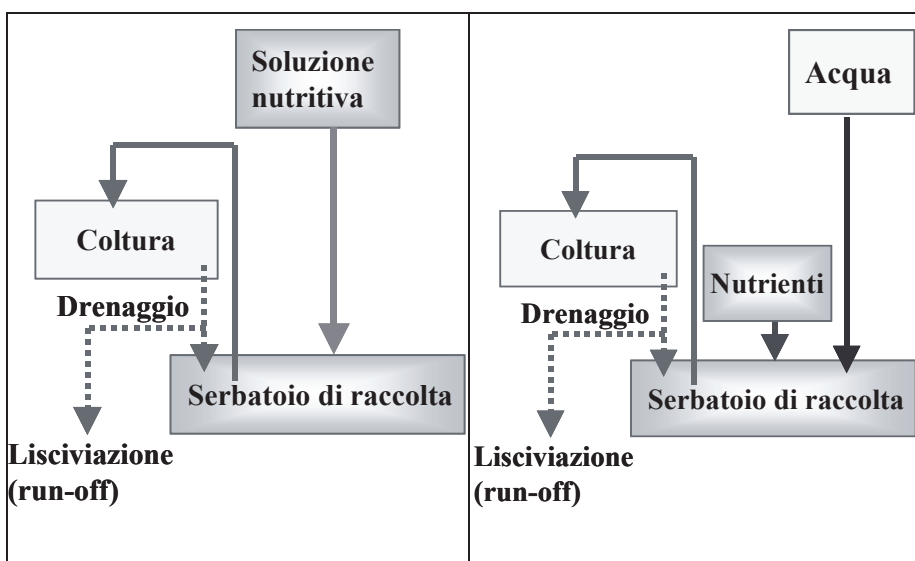


Figura 1. Differenti possibilità di reintegro dei nutrienti nelle soluzioni riciccolanti nei sistemi a ciclo chiuso. A destra: opzione a conducibilità costante; a sinistra: opzione a concentrazione dei nutrienti costante.

Commercialmente due sono i principali metodi per il reintegro dei nutrienti nelle soluzioni ricircolanti (Incrocci e Leonardi, 2004 - vedi Figura 1):

a) reintegro della soluzione nutritiva con sola acqua o soluzione nutritiva (talora con diversa concentrazione di nutrienti) in proporzioni tali da mantenere costante la conducibilità elettrica della soluzione ricircolante. Questa modalità, definita a "conducibilità costante" si caratterizza per il mantenimento costante della EC della soluzione ricircolante. Tuttavia questo sistema deve necessariamente disporre di acque buone, con concentrazioni non eccessive di calcio e magnesio (non superiori alla C_U della coltura) e basse di ioni non-essenziali, come il sodio, o poco utilizzati, come il cloro, per evitare che un loro progressivo accumulo provochi una riduzione nell'aggiunta di nutrienti da parte del fertirrigatore con conseguente sviluppo di carenze minerali (Fig. 2).

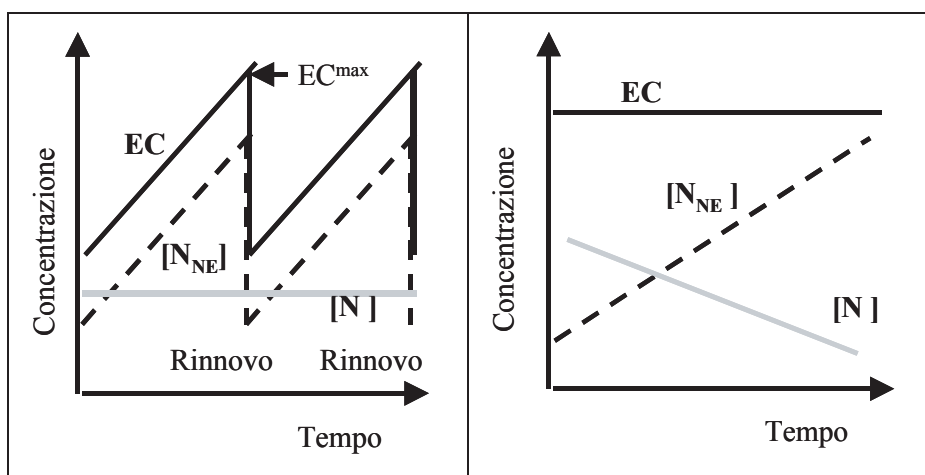


Figura 2 - Andamento della EC, della concentrazione di macronutrienti (N) e degli elementi non-essenziali (N_{NE}) nelle soluzioni ricircolanti di sistemi a ciclo chiuso con reintegro a conducibilità costante (a destra) o concentrazione dei nutrienti costante (a sinistra).

Per questo motivo in Olanda si utilizza, per il reintegro dell'evapotraspirato, almeno in parte, acqua piovana o purificata con sistemi di osmosi inversa (con costo omnicomprensivo di circa 0,9-1,0 €/m⁻³);

b) il reintegro dei consumi di soluzione nutritiva è effettuato non con semplice acqua, ma con soluzione di nuova preparazione. Questa modalità, detta anche a "concentrazione dei nutrienti costante", si caratterizza per il mantenimento più o meno costante della concentrazione dei nutrienti e per un progressivo aumento della conducibilità della soluzione nutritiva correlata con l'aumento della concentrazione degli ioni meno utilizzati. Questo sistema è più adatto alla gestione di sistemi in cui si utilizzano acque saline in quanto l'accumulo degli ioni non utilizzati è segnalato dall'incremento di EC. Tipicamente i sistemi che utilizzano questa modalità di reintegrazione presentano un andamento della conducibilità elettrica oscillante fra un valore minimo e uno massimo (Fig. 2): la conducibilità aumenta, più o meno lentamente, secondo la qualità dell'acqua irrigua e della evapotraspirazione del sistema, fino a raggiungere una soglia massima di tolleranza tipica della coltura (EC_{max}). Successivamente è necessario il rinnovo totale o parziale della soluzione ricircolante, il quale riporta a livelli inferiori la EC (Fig. 2).

In entrambi i metodi, sono consigliate periodiche analisi della soluzione ricircolante allo scopo di rilevare eventuali anomalie. In ogni caso il pH della soluzione nella vasca di ricircolo viene monitorato in continuo e corretto aggiungendo acidi e/o basi attraverso pompe dosatrici sotto il controllo di un sensore di pH.

La subirrigazione

Tradizionalmente, nei sistemi di coltivazione a ciclo chiuso su substrato, la soluzione nutritiva viene erogata nella parte superiore del substrato. Un sistema alternativo è quello della subirrigazione. La tecnica è già stata ben illustrata in altri contributi contenuti all'interno di questo volume. Si tratta di un sistema nel quale l'irrigazione della pianta è effettuata attraverso un allagamento controllato della parte basale del contenitore per un'altezza di 1-4 cm; da qui, la distribuzione della stessa soluzione in tutto il substrato avviene per risalita capillare. La soluzione nutritiva erogata è quindi in parte assorbita dalla pianta e in parte perduta per evaporazione; solo una frazione della soluzione nutritiva, in corrispondenza di ciascun intervento irriguo, ritorna nel serbatoio di raccolta. Gli elementi minerali non assorbiti tendono ad accumularsi progressivamente nella parte più alta del substrato.

La subirrigazione consente una significativa riduzione delle quantità di acqua e di fertilizzanti, una più uniforme distribuzione della soluzione nutritiva nel substrato, una ridotta incidenza delle

malattie radicali (dovuto al ridotto scambio fra la soluzione all'interno del vaso e quella ricircolante) e una riduzione della manodopera necessaria per le operazioni di irrigazione, riduzione che può essere consistente nel caso che l'azienda adotti un sistema di sub-irrigazione su pavimento con movimentazione dei vasi meccanizzata.

Ai vantaggi sopra indicati si contrappongono tuttavia alcuni svantaggi legati ai maggiori costi iniziali, alla necessità di utilizzare dei substrati che consentono una ottima risalita capillare della soluzione nutritiva e, in particolare nel caso di utilizzo di acque di scarsa qualità, al rilevante accumulo di sali negli strati superiori del substrato che pongono alcune difficoltà sia nella crescita e produzione delle piante coltivate, sia nel reimpiego del substrato in successivi cicli di coltivazione (Uva *et al.*, 1998; Santamaria *et al.*, 2003).

Un confronto fra la subirrigazione e l'irrigazione a goccia con l'uso di acque saline: il caso studio del pomodoro

Uno dei principali vantaggi della subirrigazione è quello che, pur essendo un sistema di coltivazione a ciclo chiuso, non presenta, o li presenta in maniera molto attenuata, i problemi tipici di questo e cioè la necessità di adottare sistemi di disinfezione della soluzione nutritiva e di effettuare numerosi controlli analitici per gestire in maniera corretta il rifornimento minerale.

Il motivo di ciò sta nel fatto che nella subirrigazione, a differenza della irrigazione a goccia, la soluzione nutritiva tende sempre ad entrare nel vaso e non a fuoriuscirne, creando un flusso unidirezionale di soluzione nutritiva dal basso verso l'alto del vaso: questa caratteristica è la vera ragione della stabilità della composizione della soluzione nutritiva ricircolante e del limitato rischio fitopatologico. Lo scambio fra soluzione ricircolante e soluzione nutritiva all'interno del vaso si verifica quando il vaso si trova già a saturazione idrica e limitatamente alla zona bagnata dalla soluzione nutritiva durante la fase di adacquamento (pochi centimetri). Diversi autori hanno fornito conferma di ciò. Ad esempio Santamaria *et al.* (2003) hanno dimostrato che tanto maggiore è il volume di substrato bagnato direttamente dalla soluzione all'interno del vaso (a causa del tipo di vaso utilizzato) tanto maggiore è l'aumento nel tempo della EC della soluzione ricircolante. Ulteriore conferma del limitato scambio fra la soluzione

ricircolante e quella presente all'interno del vaso è stata fornita in una recente ricerca condotta su pomodoro (Incrocci *et al.*, 2006; vedi fig. 3): in questo esperimento si è simulato, su vasi con piante di pomodoro coltivate usando la subirrigazione o l'irrigazione a goccia, un tipico intervento irriguo (15 minuti di allagamento per un'altezza di 2 cm o la somministrazione di 400 mL di acqua nel trattamento a goccia) utilizzando acqua distillata e misurando l'incremento di EC ottenuto nel drenato raccolto. Questo indice rappresenta la capacità di lisciviazione di un singolo intervento irriguo e conseguentemente è un indice del livello di rimescolamento fra soluzione presente all'interno del vaso e soluzione ricircolante. Come si nota in figura 3, la lisciviazione di sali nel sistema della subirrigazione è praticamente nulla.

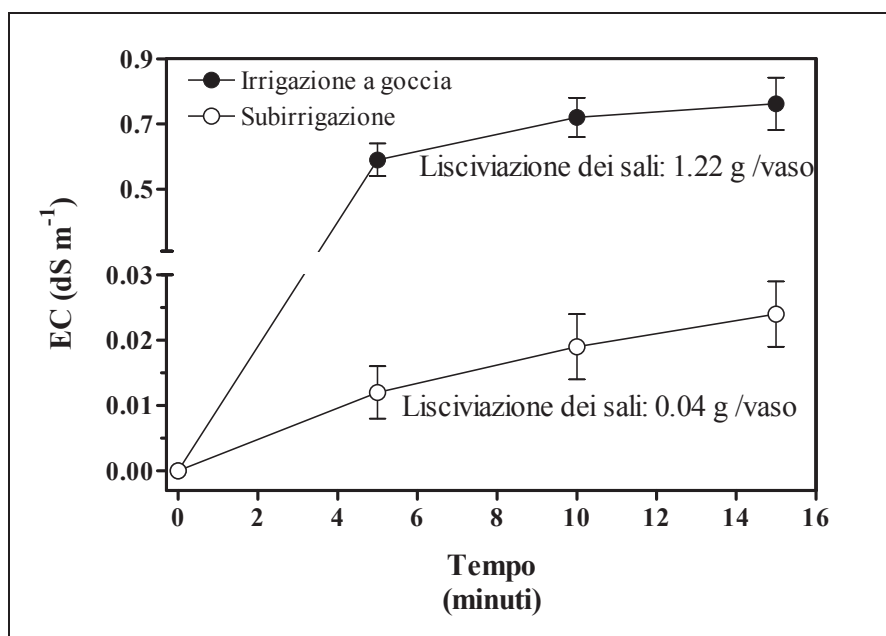


Figura 3 - Effetto della tecnica irrigua (subirrigazione, simbolo vuoto vs. irrigazione a goccia, simbolo pieno) sul rimescolamento fra la soluzione nel vaso e quella della soluzione ricircolante durante un intervento irriguo.

Questo movimento unidirezionale di soluzione nutritiva dall'esterno verso l'interno del vaso, fonte dei vantaggi sopradescritti, può trasformarsi in uno svantaggio nel caso si

utilizzino acque mediamente saline, a causa del rapido accumulo di sali non essenziali all'interno del vaso stesso.

Per questo motivo presso il Dipartimento di Biologia delle Piantе Agrarie dell'Università di Pisa, si è condotta una prova con lo scopo di studiare specificamente l'effetto della subirrigazione e dell'irrigazione tradizionale a goccia sulla crescita e sulla produzione di una coltura di pomodoro da mensa (cv. Jama) (Incrocci *et al.*, 2006) utilizzando un'acqua di mediocre qualità, contenente circa 10 mmol/L di NaCl.

La coltivazione si è svolta in vasi singoli (diametro 18 cm, da circa 3,6 L) nel caso dell'irrigazione a goccia (D) e in un doppio vaso per la subirrigazione (S) (3,6 L). Il trapianto è stato effettuato utilizzando piantine di pomodoro allevate in cubi di Grodan®, posti o al centro del vaso (irrigazione a goccia) o a cavallo di due vasi (subirrigazione). Il maggior volume di substrato scelto per la subirrigazione aveva il duplice scopo di rendere maggiormente simili i volumi di soluzione ricircolante trattenuta dal substrato nei due trattamenti (la percentuale di umidità media era inferiore nel subirrigato rispetto a quello dell'irrigazione a goccia) e di fornire un *buffer* maggiore di substrato per mitigare l'effetto dell'accumulo di sali nel vaso stesso. L'irrigazione a goccia era automatizzata sulla base dell'accumulo di radiazione globale: al superamento della soglia di $1,0 \text{ MJ/m}^2$ si somministrava da 0,6 a $1,2 \text{ L/m}^2$ di soluzione nutritiva a seconda dello stadio di crescita, con una frazione di lisciviazione (LF) di circa 0,60. Nella subirrigazione l'intervento irriguo era programmato a tempo: si effettuavano 6 interventi diurni e uno notturno della durata di 15 minuti, con un'altezza della soluzione ricircolante di circa 2 cm. Ogni giorno l'evapotraspirato in ogni impianto sperimentale (circa 20 m^2) era automaticamente reintegrato con soluzione nutritiva fresca, la stessa usata durante tutta la sperimentazione e avente la seguente composizione (in mmol/L): EC 3,0 dS/m; $11,0 \text{ N-NO}_3^-$; $1,0 \text{ P-H}_2\text{PO}_4^-$, $7,5 \text{ K}^+$, $2,5 \text{ Mg}^{2+}$, $4,0 \text{ Ca}^{2+}$ Na e Cl 10 mmol/L). La soluzione ricircolante veniva parzialmente rinnovata (sostituzione della soluzione nel *mixing tank* con soluzione fresca) quando la sua EC superava i 6,0 dS/m.

In tabella 2 sono descritte le condizioni sperimentali dell'esperimento condotto.

I rilievi effettuati sono stati i seguenti: evapotraspirato e misura della EC della soluzione ricircolante su base giornaliera, analisi per i macronutrienti della soluzione ricircolante su base settimanale, rilievi quanto-qualitativi della produzione, bilancio idrico-minerale della coltura ed estratti acquosi dei substrati di coltivazione,

suddividendo i vasi in tre porzioni di uguale altezza (alto, medio e basso).

Tabella 2 - Descrizione dei principali parametri registrati durante l'esperimento su pomodoro condotto presso il DBPA dell'Università di Pisa.

Parametro	Subirrigazione (S)	Irrigazione a goccia (D)
Densità (piante/m ²)	3	3
Volume di substrato (L/m ²)	17,4	9,6
Soluzione ricircolante totale (L/m ²)	20	16
Soluzione presente nel <i>mixing tank</i> (L/m ²)	8,8	8,8
Durata del periodo sperimentale (giorni)	91	
Radiazione globale media giornaliera (MJ/m ²)	9,9	
Temperatura media dell'aria (°C)	22	

I risultati ottenuti hanno dimostrato che la subirrigazione è un sistema a ciclo chiuso in cui la gestione del rifornimento minerale è molto semplificata: infatti, come mostrato nella figura 4, durante i 91 giorni di coltivazione, la EC della soluzione ricircolante nel trattamento subirrigato si è innalzata di soli 1,5 dS/m, mentre nell'irrigazione a goccia è stato necessario effettuare 6 rinnovi della soluzione nutritiva, per il superamento della soglia massima di EC ritenuta accettabile per la coltura di pomodoro (6 dS/m).

L'innalzamento della EC è stato causato principalmente dall'accumulo di sodio nella soluzione nutritiva ricircolante ed in parte dall'accumulo di nutrienti (fig. 4). Il sistema irriguo non ha influenzato l'evapotraspirato complessivo della coltura, ma i 6 scarichi necessari nella coltivazione a goccia hanno aumentato il *runoff* di quest'ultima con la conseguente minor efficienza idrica del sistema (tab. 3).

La produzione totale e commerciale ottenuta dai due sistemi (subirrigazione e irrigazione a goccia) non è stata quantitativamente differente (produzione totale pari a 11,0 e 10,5 kg/m², rispettivamente, nell'irrigazione a goccia e nella subirrigazione). Tuttavia è stato notato che la pezzatura dell'ultimo palco (il quinto) era mediamente inferiore del 25% nella

subirrigazione rispetto a quella ottenuta nell'irrigazione a goccia, a cui corrispondeva un aumento di circa il 10% del contenuto totale in solidi solubili ($^{\circ}\text{Brix}$), sintomo che le piante subirrigate iniziavano, dopo circa 80 giorni di coltivazione, a mostrare uno stress salino, confermato dagli elevati valori di EC e della concentrazione di Na e K presente nell'estratto acquoso ottenuto dagli strati alti della subirrigazione rispetto all'irrigazione a goccia (vedi fig.5). Analoghi risultati sono riportati anche in letteratura (Santamaria *et al.*, 2003).

Tabella 3 - Effetto della subirrigazione e dell'irrigazione a goccia sull'efficienza idrica di una coltura di pomodoro su substrato a ciclo chiuso (vedi il testo per i dettagli).

Parametro	Sub irrigazione	Irrigazione a goccia	P ¹
Acqua somministrata (W; L/m ⁻²)	324	373	*
Residuo e/o <i>runoff</i> (L; L/m ²)	8,8	61,6	***
Evapotraspirazione (W-L; L/m ²)	315	312	ns
Efficienza idrica (kg/L ⁻¹)	32,6	29,3	*

¹ Test della minima differenza significativa: ns, non significativo; * e *** significativo per $P < 0,05$ e $P < 0,001$, rispettivamente.

L'accumulo di sali nella parte alta del substrato in realtà non ha influenzato troppo la vita della pianta, la quale ha reagito concentrando maggiormente le proprie radici nella parte più bassa del vaso, dove migliori erano le condizioni edafiche (foto 1).

In tabella 4 è riportato il bilancio minerale della coltura, suddiviso per i principali comparti (soluzione nutritiva, zona radicale e pianta), calcolato sulla base del totale di elementi minerali (azoto, fosforo, potassio e sodio) presenti o nella sostanza secca del substrato e della pianta o nelle soluzioni riciccolanti e nel runoff. Nella subirrigazione la quantità di elementi non essenziali non assorbiti dalla pianta si è concentrata nel comparto "zona radicale" (substrato e radici) grazie al movimento unidirezionale della soluzione nutritiva dall'esterno verso l'interno del vaso.

Tabella 4 - Effetto della subirrigazione (S) e dell'irrigazione a goccia sull'assorbimento e allocazione minerale in una coltura di pomodoro allevata senza suolo.

Parametro	Subirrigazione	Goccia	P
Azoto (g/m²)			
Fornito	48,6	55,8	*
Residuo <i>e/o runoff</i>	1,5	11,5	***
Assorbimento calcolato	47,1	44,3	ns
Assorbimento misurato	46,6	43,5	ns
Foglie e steli	19,0	24,4	*
Frutti	14,6	14,1	ns
Intera parte aerea	33,6	38,5	*
Zona radicale	13,0	5,0	***
Fosforo (g/m²)			
Fornito	10,0	11,6	*
Residuo <i>e/o runoff</i>	0,3	1,8	***
Assorbimento calcolato	9,7	9,8	ns
Assorbimento misurato	7,0	6,4	ns
Foglie e steli	1,9	3,4	***
Frutti	1,7	1,8	ns
Intera parte aerea	3,6	5,2	**
Zona radicale	3,4	1,2	***
Potassio (g/m²)			
Fornito	92,8	106,2	*
Residuo <i>e/o runoff</i>	3,4	24,1	***
Assorbimento calcolato	89,4	82,1	ns
Assorbimento misurato	87,5	79,1	*
Foglie e steli	23,6	26,1	ns
Frutti	24,5	26,9	ns
Intera parte aerea	48,1	53,0	ns
Zona radicale	39,4	26,1	**
Sodio (g/m²)			
Fornito	74,5	85,8	*
Residuo <i>e/o runoff</i>	3,8	51,8	***
Assorbimento calcolato	70,7	34,0	***
Assorbimento misurato	71,0	30,1	***
Foglie e steli	15,9	11,6	*
Frutti	10,1	7,7	*
Intera parte aerea	26,0	19,3	*
Zona radicale	45,0	10,8	***

Figura 4 - Influenza della subirrigazione e dell'irrigazione a goccia sulla conducibilità elettrica (EC) e sulla concentrazione di Na e K nella soluzione ricircolante (SR).

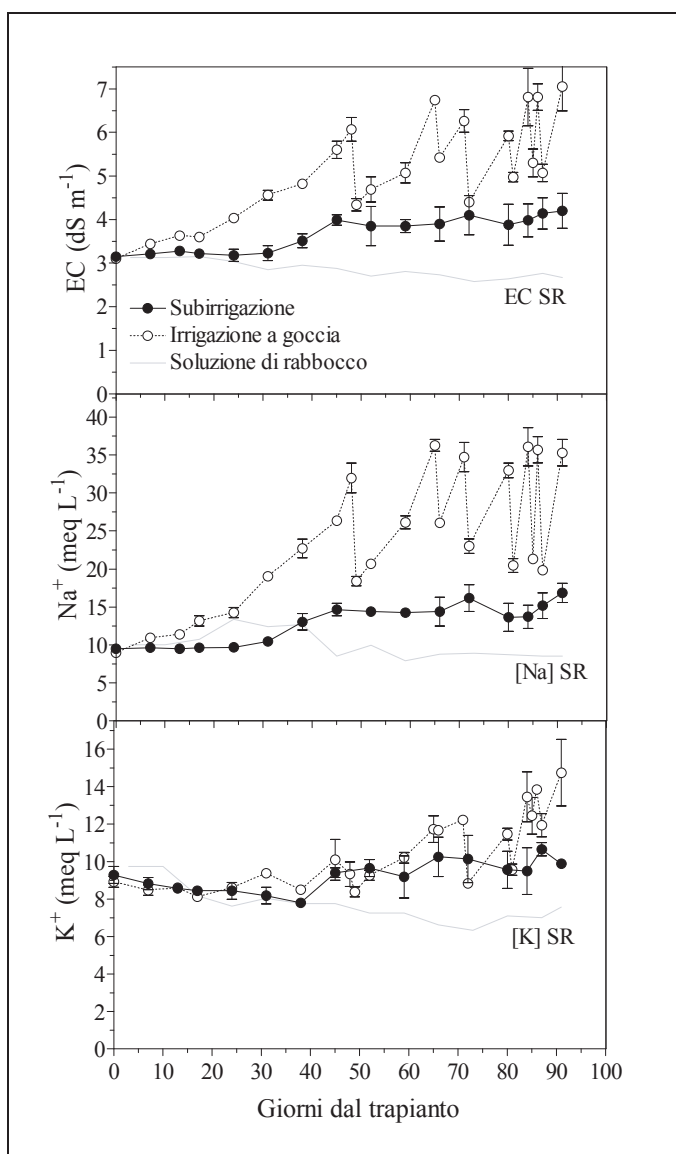
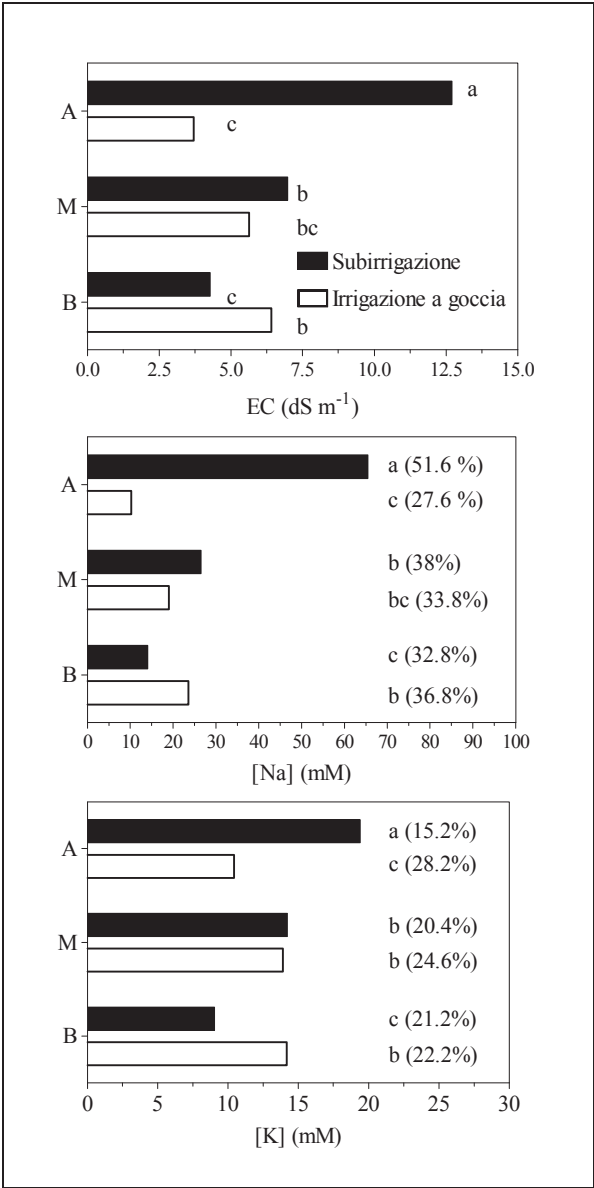


Figura 5 - Influenza della subirrigazione e dell'irrigazione a goccia sulla conducibilità elettrica e sulla concentrazione di Na e K degli estratti acquosi dello strato alto (A), medio (M) e basso (B) del substrato di una coltivazione di pomodoro allevato a ciclo chiuso.



Questa maggiore concentrazione nella zona radicale ha favorito un maggiore assorbimento di sodio da parte della pianta e al tempo stesso, per fenomeni di antagonismo, ha limitato l'assorbimento di nutrienti (fosforo e azoto in particolare), come confermato in letteratura da vari autori (Sonneveld, 2000; Silverbush e Ben-Asher, 2001; Malorgio et al., 2001). Al contrario, nell'irrigazione a goccia, dove è sempre stato presente un flusso di lavaggio della zona radicale, il sodio si è accumulato nella soluzione nutritiva ricircolante ed è stato facilmente allontanato dal sistema attraverso lo scarico della soluzione nutritiva esausta.

Infatti, nell'esperimento condotto, fatto pari a 100 il totale di sodio apportato con l'acqua irrigua utilizzata, nel trattamento subirriguo questo si è accumulato per il 5% nella soluzione ricircolante e di *runoff*, per il 35% nella parte vegetativa della pianta (frutti, foglie e steli) e per il restante 60% nel substrato; invece nel trattamento a goccia il sodio fornito con l'acqua irrigua si è ripartito per ben il 61% nella soluzione ricircolante e di *runoff*, per il 23% nella parte aerea e il restante 16% nel substrato di coltivazione.

L'uso della subirrigazione con acque saline per la coltivazione di specie ornamentali

Uno studio analogo a quello condotto sul pomodoro è stato condotto nel 2005 utilizzando una pianta da fiore (geranio ricadente detto anche "francesino", *Pelargonium x peltatum*). L'esperimento è stato svolto nel periodo gennaio-aprile confrontando i seguenti trattamenti a confronto: subirrigazione e irrigazione a goccia, acqua di ottima qualità (acqua piovana) e acqua di scarsa qualità (acqua contenente circa 10 mM di NaCl). Anche in questo caso sono stati ottenuti risultati simili a quelli riportati per il pomodoro: sostanzialmente, nessuna differenza visibilmente apprezzabile fra i due sistemi di irrigazione, maggiore stabilità della composizione della soluzione ricircolante nel trattamento subirrigato e accumulo di salinità nello strato più alto del substrato subirrigato. In questo caso è stata anche valutata l'eventuale influenza del sistema irriguo sulla *shelf-life* del prodotto e cioè sulla "durata" della pianta una volta acquistata dal consumatore, ottenendo risultati abbastanza scadenti con le piante subirrigate. Infatti, le piante subirrigate, una volta sottoposte a tradizionali irrigazioni per aspersione o a goccia (come fa la stragrande maggioranza dei consumatori), subiscono un forte stress salino e possono manifestare fenomeni di

fitotossicità a causa della risolubilizzazione dei sali precipitati nello strato alto del vaso durante la coltivazione (vedi foto 2), con notevole sofferenza della vegetazione e ritardi nella crescita. Analoghi risultati sono riportati in bibliografia per *l'impatiens* (Todd e Reed, 1998).

Conclusioni

La subirrigazione è una tecnica che necessita di forti investimenti iniziali, ma che è in grado di fornire importanti vantaggi tra cui una forte riduzione della manodopera e una maggiore uniformità delle piante coltivate. Inoltre, è il sistema a ciclo chiuso con maggiore affidabilità e maggiore semplicità di gestione sia per il rifornimento idrico-minerale, sia per il controllo dei patogeni. Tuttavia i dati sperimentali ottenuti presso il Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie dell'Università di Pisa confermano che questa tecnica necessita di acque irrigue di buona qualità e con bassa concentrazione di elementi non essenziali.

Infatti, è possibile utilizzare acque moderatamente saline per la coltivazione di specie resistenti (es. pomodoro e/o melone), utilizzando cicli colturali brevi, ma ciò non lo è più quando invece si coltivano specie ornamentali sensibili, sia per gli effetti diretti di riduzione di crescita dovuta alla progressiva salinizzazione del substrato, sia per l'effetto di riduzione della *shelf-life* del prodotto subirrigato, con conseguente insoddisfazione dell'utilizzatore finale.

Il sistema di irrigazione a goccia, per la sua capacità di fornire un costante dilavamento della parte radicale, abbinato con un sistema di rifornimento degli elementi minerali continuo (nutrienti costanti, EC variabile), appare una soluzione migliore della subirrigazione quando si abbiano a disposizione acque di scarsa qualità, anche se effettivamente si presenta più esposto ad attacchi da parte di patogeni radicali e necessita di maggiori controlli per i nutrienti. Infine, in un'ottica globale della filiera produttiva, occorre far notare che i vantaggi di semplificazione della gestione del rifornimento minerale tipiche della tecnica subirrigua, presenti anche nel caso di utilizzo di acque di mediocre qualità, hanno l'inconveniente di accumulare sali nel substrato, rendendo problematico il suo riutilizzo alla fine della coltivazione. Infatti, l'eventuale suo lavaggio per l'eliminazione dei sali accumulati in esso rischia di azzerare il risparmio idrico ottenuto con l'uso della subirrigazione.

Bibliografia

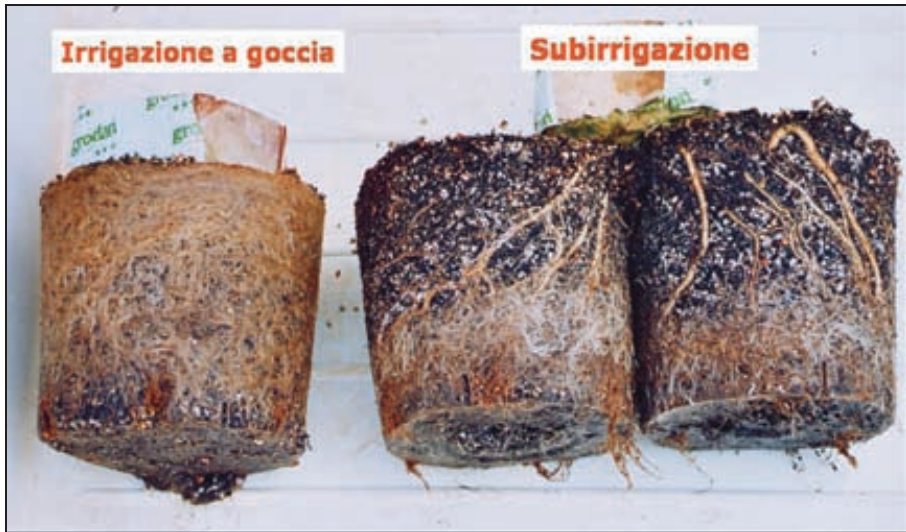
- Baille, A. 1998. Crop water requirements of greenhouse crops (application to fertirrigation scheduling). Seminari su colture idroponiche, Pisa, 26-27 Febbraio 1998.
- Cavazza, S., Cortopassi, P., Crisci, A., Duchi G., Pardossi A., Simonetta J., 2002. Nuovi studi sulla crisi idrica e sulla salinizzazione a Viareggio e in Versilia. Tipografia Massarosa, Massarosa, (LU): 108 pp.
- Carmassi, G., Incrocci, L., Maggini, R., Malorgio, F., Tognoni, F., Pardossi, A. 2005. Modeling salinity build-up in recirculating nutrient solution culture. J. Plant Nutr., 28: 431-445.
- Incrocci, L., Leonardi, C. 2004. I sistemi di coltivazione fuori suolo a ciclo chiuso. Atti del convegno "La produzione in serra dopo l'era del bromuro di metile", Ragusa 2004: 83-92.
- Incrocci, L., Malorgio, F., Della Bartola, A., Pardossi, A., 2006. The influence of drip irrigation or subirrigation on tomato grown in closed-loop substrate culture with saline water. Sci. Hortic., 107: 366-372.
- Malorgio, F., Incrocci, L., Carmassi, G., Pardossi, A., Tognoni, F. 2001. Accumulo di sali (NaCl) e consumo minerale in pomodoro coltivato in sistemi idroponici a ciclo chiuso. Italus Hortus, 8 (6): 43-48.
- Santamaria, P., Campanile, G., Parente, A., Elia, A., 2003. Subirrigation vs drip-irrigation: effects on yield and quality of soilless grown cherry tomato. J. Hort. Sci. Biotech., 78: 290-296.
- Silverbush, M., Ben-Asher, J., 2001. Simulation study of nutrient uptake by plants from soilless cultures as affected by salinity build-up and transpiration. Plant Soil, 233: 59-69.
- Sonneveld, C., Voogt, W., Spaans, L., 1999. A universal algorithm for calculation of nutrient solution. Acta Hortic., 481: 331-339.
- Todd, N.M., Reed, D.W., 1998. Characterising salinity limits of new guinea impatiens in recirculating subirrigation. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 123: 156-160.
- Uva, W. L., Weiler, T. C., Milligan, R. A., 1998. A survey on the planning and adoption of zero runoff subirrigation system in greenhouses operations. HortScience, 33: 193-196.

Ringraziamenti

Lavoro svolto nell'ambito del progetto MIUR-PRIN 2005 "Aspetti fisiologici e tecnologici della nutrizione minerale di piante ortive coltivate fuori suolo con sistemi a ciclo chiuso e ricadute sullo stato fitosanitario delle colture".

- I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso -

Foto 1 - Apparati radicali di pomodoro coltivato in vaso utilizzando il metodo irriguo della subirrigazione (destra) o quello a goccia (sinistra).



- I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso -

Foto 2 - Influenza del metodo irriguo (subirrigazione, pianta a destra, vs irrigazione a goccia, pianta a sinistra) sulla *shelf-life* di piante di geranio, 20 giorni circa dopo la messa a dimora.



Problemi fitosanitari e prospettive di difesa nelle coltivazioni senza suolo a ciclo chiuso

Andrea MINUTO, Angelo GARIBALDI

Introduzione

Le coltivazioni senza suolo a ciclo chiuso rappresentano certamente un'alternativa alla disinfestazione dei suoli agrari utilizzabile, in particolare, per le colture ad alto reddito, ma non solo (Gullino *et al.*, 2003; Martin, 2003). Sfortunatamente i sistemi a ciclo chiuso hanno pochi, ma significativi svantaggi legati alle caratteristiche chimiche delle soluzioni nutritive riciclate (Tognoni e Serra, 1994; van Os *et al.*, 2000; Santamaria *et al.*, 2003; Schwartz *et al.*, 2004; Ehret *et al.*, 2005), all'accumulo di metaboliti vegetali potenzialmente fitotossici ed al rischio di rapida diffusione di parassiti delle piante (Runia, 1994; Stanghellini e Rasmussen, 1994; Wohanka, 1995) tra cui vanno considerati anche virus quali, ad esempio, *tobacco mosaic virus* (TMV), *tomato mosaic virus* (ToMV), *cucumber green mottle mosaic virus* (CGMMV), *tobacco necrosis virus* (TNV) e *lettuce big vein virus* (LVV) (Paludan, 1985; Park *et al.*, 1999). Anche i nematodi (*Meloidogyne* e *Radopholus*) possono costituire un rischio per le colture allevate in sistemi senza suolo (Hallmann *et al.*, 2005). Infine, molto recentemente, in aggiunta ai parassiti fungini (parassiti zoosporici, *Fusarium* sp., *Colletotrichum* sp., ecc.) di norma presenti all'interno di colture senza suolo, in Brasile è stato rinvenuto un nuovo parassita in coltivazioni di lattuga senza suolo quale agente di alterazione dell'apparato radicale (Halfeld-Vieira e Nechet, 2006).

Effetti della tecnica di distribuzione della soluzione nutritiva sulla gravità e diffusione dei parassiti delle colture

Non molte sono le ricerche che hanno cercato di valutare i potenziali effetti positivi o negativi dei diversi sistemi di distribuzione della soluzione nutritiva (SN) sulle alterazioni di origine parassitaria in sistemi fuori suolo. Alcuni Autori ritengono che la distribuzione della SN mediante irrigazione effettuata sulla superficie del contenitore possa in qualche modo facilitare il rilascio nella SN dei propaguli di parassiti presenti a livello dell'apparato radicale per semplice dilavamento degli stessi durante le fasi di irrigazione (Stanghellini *et al.*, 2000). E', peraltro, possibile affermare che la distribuzione della SN mediante subirrigazione contribuisca a creare un ambiente non adatto a diverse alterazioni in grado di danneggiare le colture a livello delle porzioni epigee evitando di incrementare l'umidità relativa ambientale grazie all'assenza di acqua libera sulla superficie dei substrati di coltivazione. E' il caso, ad esempio, di colture quali il basilico che, allevate in sistemi fuori suolo con subirrigazione, vedono efficacemente limitate le infezioni di almeno tre parassiti fogliari fortemente favoriti da condizioni di elevata umidità relativa: *Botrytis cinerea*, *Colletotrichum* sp., *Peronospora* sp. (Minuto *et al.*, 2007). In passato l'impiego di sistemi per subirrigazione già era stato indicato quale possibile soluzione alla limitazione della diffusione di infezioni di *Xanthomonas campestris* pv *begoniae* su *Begonia hiemalis*. In tale caso, infatti, il batterio, nonostante possa diffondersi attraverso la SN, grazie all'adozione della subirrigazione vede limitata la possibilità di diffusione attraverso gli schizzi di soluzione infetta sul fogliame, al contrario, invece, di quanto accade in presenza di sistemi irrigui a goccia o, peggio, per asperione soprachioma (Atmatjidou e Hointink, 1991). In precedenza, ma questa volta su ciclamino e in presenza di SN infette da *Fusarium oxysporum* f.sp. *cyclaminis*, l'apporto irriguo effettuato mediante subirrigazione non era apparso in grado di causare una significativa diffusione dell'infezione anche con l'adozione di un sistema fuori suolo a ciclo chiuso (Rattink, 1990). A tale riguardo, però, esperienze successive condotte sia negli USA (Atmatjidou e Hointink, 1991) sia in Italia (Minuto e Garibaldi, 1998) hanno contraddetto quanto indicato da Rattink (1990) in Olanda, quasi certamente a causa di condizioni climatiche maggiormente favorevoli al patogeno e di turni irrigui estremamente

ravvicinati. Operando sul binomio ospite/parassita cetriolo/*Pythium aphanidermathum*, Sanogo e Moorman (1993) hanno dimostrato che, su colture allevate in vaso con distribuzione della SN tramite la subirrigazione, il riutilizzo della frazione drenata favorisce la diffusione dell'inoculo in particolare quando la fonte primaria di infezione è rappresentata da SN già infetta. Al contrario, la diffusione appare molto più sporadica e rallentata allorché la fonte di inoculo è il substrato di coltivazione e la SN è distribuita mediante sistemi per subirrigazione e in condizioni di limitata fuoriuscita di radici dai contenitori di coltivazione (Sanogo e Moorman, 1993). Altri Autori hanno, in seguito, evidenziato che per il binomio gerbera/*Phytophthora cryptogea* l'adozione della subirrigazione appare potenzialmente pericolosa quando sono effettuati più di un intervento al giorno in presenza di SN a bassa conducibilità elettrica (1,5 mS/cm) (Thinggaard e Andresen, 1995), confermando, indirettamente, i differenti risultati ottenuti su ciclamino in sistemi infetti da *F. cyclaminis* in Olanda, USA e Italia. Da ultimo un confronto diretto tra gli effetti dell'impiego della subirrigazione e dell'irrigazione a goccia su colture di peperone allevate in vaso in sistemi a ciclo chiuso infette da *Phytophthora capsici* ha permesso di dimostrare la più rapida comparsa dei sintomi nei sistemi irrigati a goccia definiti, dagli stessi Autori, maggiormente favorevoli alla diffusione dell'inoculo all'interno del sistema di coltivazione (Stanghellini *et al.*, 2000).

Tecniche e strategie di trattamento della soluzione nutritiva

Anche adottando sistemi irrigui non favorevoli alla diffusione dell'inoculo tra individui infetti ed individui sani, nei sistemi fuori suolo a ciclo chiuso la disinfezione della SN riciclata è ritenuta una pratica determinante. Tra le tecniche disponibili per la disinfezione della SN, possono essere considerati accettabili tecnicamente ed economicamente diversi metodi (Stanghellini e Rasmussen, 1994; van Os *et al.*, 2000).

I mezzi fisici

Le radiazioni ultraviolette con lunghezza d'onda compresa tra 200 e 280 nm (UV-C) dimostrano efficacia biocida raggiungendo l'ottimo alla lunghezza d'onda di 254 nm (Stanghellini e Rasmussen, 1994; Runia e Boonstra, 2004). Peraltro, l'uso degli UV può causare la degradazione dei chelati di ferro potendo

generare, talora, fenomeni di carenza sulla coltura (van Os *et al.*, 2003). Recentemente, inoltre, è stata valutata la possibilità di combinare radiazione UV e uso di agenti ossidanti (H_2O_2) (Runia e Boonstra, 2004). L'impiego di sistemi basati su trattamenti termici delle SN non è recente e si basa su dispositivi analoghi a quelli adottati, ad esempio, per la pastorizzazione del latte. Al fine di ottenere la massima efficacia biocida nei confronti di differenti patogeni, viene considerato necessario un trattamento a 95 °C per almeno 10 secondi. Aumentando il tempo di esposizione a 30 secondi, il trattamento, inoltre, può essere considerato eradicante nei confronti di batteri, funghi, virus e nematodi. E' comunque possibile effettuare trattamenti a 90 °C per 2 minuti o a 85 °C per 3 minuti, al fine di ottenere l'eliminazione di tutti i patogeni, inclusi i virus, o a 60 °C per 2 minuti, per eliminare totalmente funghi, batteri e nematodi, ottenendo, inoltre, anche un significativo risparmio energetico (Runia, 1994; Runia e Amsing, 2000; van Os *et al.*, 2003). Tra le altre possibili tecniche possiamo considerare l'impiego degli ultrasuoni, ad oggi saggiato con buoni risultati su *Pythium* spp. (Tu e Zhang, 2000) e la filtrazione con membrane, particolarmente efficace non solo per la rimozione di microrganismi (van Os *et al.*, 2003).

I mezzi chimici

Sulla base di numerose evidenze sperimentali l'applicazione di 10 g di O_3/m^3 per un'ora di esposizione è sufficiente ad eliminare tutti i potenziali patogeni dalle soluzioni nutritive (Stanghellini e Rasmussen, 1994; Runia e Boonstra, 2004).

Una sostanza più conveniente e di facile applicazione è il perossido di idrogeno (H_2O_2), la cui attività può essere incrementata aggiungendo un acido debole che funziona da attivatore. Dosaggi di 400 g/ m^3 , decisamente elevati, sono necessari per eliminare non solo funghi, ma anche virus. Limitate percentuali di nematodi (0,3%) possono comunque sopravvivere, potendo infestare le colture (van Os *et al.*, 2003).

L'impiego di mezzi chimici distribuiti in sospensione nella SN circolante potrebbe rappresentare una tecnica agevole, facilmente applicabile proprio grazie alla presenza di sistemi di irrigazione in grado di distribuire agrofarmaci proprio all'interno della coltura. Nei confronti delle alterazioni radicali di origine fungina, però, il maggiore problema che ne può ostacolare l'uso è la necessità di una registrazione che ammetta l'applicazione del formulato all'interno di sistemi senza suolo (Garibaldi *et al.*, 2004).

Tra i mezzi chimici che, comunque, attualmente destano notevole interesse tra i ricercatori, ricordiamo i tensioattivi, impiegati comunemente in agricoltura quali coadiuvanti nei trattamenti fitosanitari: alcune di tali sostanze, in particolare i prodotti non ionici, hanno dimostrato efficacia nella riduzione della vitalità delle zoospore di *Olpidium brassicae*, *O. radicale*, *Phytophthora parasitica*, *P. capsici*, *Pythium aphanidermatum*, *Plasmopara lactucae-radicis* (Tomlinson e Faithfull, 1981; Stanghellini e Miller, 1997). Il meccanismo di azione dei tensioattivi non ionici può consistere nell'alterazione dell'integrità e della permeabilità della membrana plasmatica (Stanghellini e Tomlinson, 1987). Peraltro è anche possibile utilizzare tensioattivi di origine biologica (mono e di ramnolipidi) prodotti da microrganismi capaci di distruggere le membrane plasmatiche e quindi ridurre la vitalità delle zoospore (Stanghellini e Miller, 1997). Recentemente, inoltre, sono stati presentati risultati di impiego di tensioattivi a base ramnolipidica ottenuti a partire da colture di *Pseudomonas aeruginosa* che si sono dimostrati particolarmente efficaci nella lotta alle infezioni zoosporiche di *P. cryptogea* agente dell'imbrunimento radicale della cicoria witloof (De Jonghe *et al.*, 2005). Da ultimo, è necessario ricordare che in numerose aziende vengono utilizzati come mezzi di disinfezione della SN circolante prodotti in grado di rilasciare cloro (ipoclorito di sodio, cloro gassoso, altre sostanze clorogeniche), tecnica già largamente applicata nella potabilizzazione delle acque sulla cui applicazione, peraltro, numerosi sono i dubbi relativi non solo per quanto concerne l'efficacia, ma soprattutto per la scarsa selettività e per le difficoltà di registrazione (Garibaldi *et al.*, 2004). Decisamente più promettenti, privi di effetti collaterali e maggiormente efficaci dell'applicazione del solo perossido di idrogeno, invece, appaiono i primi risultati ottenuti impiegando miscele di acido peracetico, acido acetico e perossido di idrogeno allo 0,2% o miscele di dimetilalchilbenzilammonio cloruro e poliesametilene-biguanidina idrocloruro (Slusarski, 2000).

Sistemi e tecniche "sostenibili"

Per limitare la diffusione di nematodi all'interno dei sistemi di coltivazione senza suolo, una strategia di possibile impiego è la semplice sedimentazione: la SN una volta giunta nel serbatoio di raccolta viene da questo prelevata per essere reimmessa nella coltura effettuando la presa dalla parte superficiale del serbatoio e, possibilmente, quanto più fisicamente distante dal punto di immissione della SN (Hallmann *et al.*, 2005), permettendo in tal modo ai nematodi di sedimentare sul fondo del bacino di raccolta.

La filtrazione lenta su sabbia (Wohanka, 1995; van Os *et al.*, 1997; van Os *et al.*, 2000) garantisce buoni risultati per la limitazione della diffusione di diversi funghi, tra cui *Phytophthora cinnamomi* (Vankuik, 1994), *P. cryptogea* (van Os *et al.*, 2000), *Pythium aphanidermatum*, *Thielaviopsis basicola*, *Cylindrocladium* spp., *Fusarium oxysporum*, *Verticillium dahliae* (Wohanka, 1995), *Xanthomonas campestris* pv *pelargonii* (Wohanka, 1995) ed il virus PFBV (*Pelargonium flower break virus*) (Berkelmann *et al.*, 1995). Il principio della filtrazione consiste praticamente nel passaggio per sola forza di gravità della SN in uno strato di sabbia fine avente granulometria definita (0,2-2,0 mm). Per ottenere buoni risultati contro gli organismi dannosi, la filtrazione deve avvenire lentamente ($100\text{-}300\text{ L h}^{-1}\text{ m}^{-2}$ di superficie filtrante) e con l'avvertenza che uno strato di SN sia continuamente presente sopra il filtro di sabbia (Wohanka, 1995). Proprio sulla superficie dello strato filtrante (*filter skin*), infatti, appena il filtro viene attivato, prende vita un'attiva popolazione microbica generalmente costituita da batteri (*Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp.) e funghi (*Trichoderma* spp.) (van Os e Postma, 2000; Wohanka e Seidel, 2004).

La repressività a infezioni di parassiti tellurici è un fenomeno ampiamente studiato in sistemi colturali intensivi ed estensivi convenzionali (Jensen e Lumsden, 1999; Fravel e Larkin, 2002; Sabaratnam e Traquair, 2002), ma certamente di possibile sviluppo anche nelle coltivazioni senza suolo (Garibaldi *et al.*, 2003; Grasso *et al.*, 2003; Folman *et al.*, 2004), essendo stato descritto e studiato per la prima volta per sistemi in mezzo liquido (NFT) e con substrato (lana di roccia) (Postma, 2004). In tali casi il riutilizzo delle SN durante tre cicli colturali successivi senza mai ricorrere alla disinfezione del substrato e/o della SN ha reso possibile la riduzione delle infezioni di *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi* su garofano e di *Pythium aphanidermatum* su cetriolo (Postma, 2004). Certamente, a differenza dei suoli agrari, caratterizzati da densità di popolazione microbica oscillante tra 10^7 a 10^9 UFC/g, le SN, ad esempio di sistemi colturali con lana di roccia, contengono non oltre 10^6 UFC/mL (van Os e Postma, 2000). In altre parole, i sistemi senza suolo possono essere considerati come caratterizzati da scarsa microflora: in essi, pertanto, a fronte di alcuni significativi svantaggi quali quello rappresentato da un parziale vuoto biologico, si assiste, perciò, alla possibilità di manipolazioni artificiali. A tale riguardo, una recente indagine condotta in Giappone ha confermato che sull'apparato radicale di piante pomodoro e nella SN i microrganismi prevalentemente presenti sono batteri aerobi ($> 10^9$ UFC/g di

radice; $> 10^6$ UFC/mL di SN), tra cui *Pseudomonas* fluorescenti ($> 10^5$ UFC/g di radice; $> 10^3$ UFC/mL di SN), e funghi ($> 10^5$ UFC/g di radice; $> 10^2$ UFC/mL di SN), tra cui *Fusarium* spp. ($> 10^3$ UFC/g di radice; > 10 UFC/mL di SN) e *Pythium* spp. ($> 10^2$ UFC/g di radice; > 10 UFC/mL di SN) (Koohakan *et al.*, 2004). All'interno di sistemi di coltivazione a ciclo chiuso, quindi, l'induzione di repressività può essere adottata forse con maggiore facilità rispetto a quanto accade in piena terra. Nei confronti di *P. aphanidermatum* su cetriolo è stata dimostrata la possibilità di ricostituire le popolazioni microbiche e quindi la repressività ad esse legata in substrati disinfestati a vapore, o comunque mai utilizzati, mediante semplice contatto con SN proveniente da sistemi già da tempo attivi a ciclo chiuso (Postma *et al.*, 2000). Al contrario, con il complesso ospite/parassita gerbera/*P. cryptogea*, l'impiego di SN drenata da sistemi già da tempo attivi a ciclo chiuso non è parso un metodo efficace per l'induzione rapida di repressività (Wohanka e Seidel, 2004). Altre ricerche hanno dimostrato che la coltivazione a ciclo chiuso, ad esempio per il complesso ospite parassita pomodoro/*Phytophthora cryptogea* si è dimostrata maggiormente repressiva della coltivazione effettuata con sistema a ciclo aperto (Postma, 2004), anche se la spiegazione di tale fenomeno non è stata chiarita. Similmente, sempre su colture di pomodoro allevate su lana di roccia, la coltivazione a ciclo chiuso si è dimostrata repressiva ed in grado di limitare le infezioni di *Pythium* spp., al contrario di quanto si verifica in coltivazioni svolte a ciclo aperto (Tu *et al.*, 1999). Sempre a tale riguardo, molto recentemente è stata dimostrata la possibilità di sfruttare fenomeni di repressività indotta all'interno di substrati a base di lana di roccia (Minuto *et al.*, 2007) e di perlite (Clematis *et al.*, 2007), confermando l'elevato peso di fattori, nel primo caso, microbiologici e, nel secondo, abiotici.

Recentemente numerosi studi sono stati condotti con lo scopo di valutare i potenziali effetti di substrati diversi sulla repressività indotta all'interno di sistemi senza suolo. E' stata così dimostrata la possibilità di utilizzare substrati caratterizzati da fattori chimici di repressività ai parassiti fungini quali ad esempio le cortecce di conifera (Yu e Komada, 1999) o da più complessi fenomeni di repressività quali, ad esempio, i compost (Pharand *et al.*, 2002; Raviv *et al.*, 2005). A tale riguardo, Borrero *et al.* (2006), valutando la repressività a *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* razza 1 di un compost prodotto a partire da vinacce e di un compost di corteccia in confronto ad un substrato prodotto unicamente a base di torba, hanno evidenziato le sostanziali differenze tra le comunità microbiche che in tali substrati si

insediano e che generano un diverso grado di repressività, decisamente molto basso nel caso della sola torba. Pertanto, tali osservazioni confermano l'evidente peso della natura del substrato di coltivazione nello sfruttamento di fenomeni di repressività naturali. Ulteriori osservazioni sperimentali hanno evidenziato, inoltre, che già solo dopo sei settimane di coltivazione le popolazioni microbiche (principalmente batteriche) di un sistema senza suolo, presenti sul rizopiano e nella rizosfera di pomodoro, non variano più significativamente la propria consistenza (batteri: 10^9 – 10^{11} UFC/g di radice; funghi 10^3 – 10^5 UFC/g di radice) (Calvo-Bado, 2006), confermando l'importanza delle prime fasi di coltivazione sulla natura e consistenza delle popolazioni microbiche. Peraltro, un incremento della densità delle popolazioni microbiche può essere indotto dalla presenza di piante deperienti a seguito di infezioni di oomiceti, in particolare *Pythium* e *Phytophthora*. Questo aspetto può essere spiegato considerando l'aumento della disponibilità di nutrienti favorito dall'azione dei patogeni sull'apparato radicale delle piante infette. Le comunità microbiche che vengono ad installarsi nei sistemi senza suolo, inoltre, sembrano scarsamente sensibili a perturbazioni esterne quali l'introduzione di microrganismi patogeni, stress ambientali, sino anche al mutamento della tecnica di gestione della SN (Calvo-Bado, 2006). Queste osservazioni suggeriscono che nel caso di mezzi biologici di lotta, nei sistemi senza suolo deve essere prevista l'applicazione dei microrganismi antagonisti stessi sin dall'inizio del ciclo di coltivazione al fine di limitare l'eventuale competizione con la popolazione microbica residente.

Anche l'attività enzimatica è stata riportata tra i meccanismi che possono essere coinvolti nella spiegazione dell'induzione di repressività: enzimi in grado di degradare pareti cellulari fungine quali proteasi, chitinasi, cellulasi e β -1-3-glucanasi sono stati individuati in SN di sistemi NFT rivelandone il loro possibile coinvolgimento (Brand e Alsanius, 2004). In particolare, enzimi proteolitici sembrano essere particolarmente e sempre presenti sulla parte superficiale del filtro (*filter skin*) ove maggiore è l'attività microbica (Brand e Alsanius, 2004), potendo da qui essere ridistribuiti all'interno dell'intero sistema senza suolo.

Strategie di lotta integrata

L'integrazione di due o più sistemi di lotta costituisce anche per le coltivazioni senza suolo una promettente strategia. In quelle condotte con impiego di substrato, la scelta del substrato stesso è già un fattore in alcuni casi determinante: un recente studio ha, infatti, dimostrato che la lana di roccia è maggiormente

predisponente nei confronti delle infezioni di *Pythium* su cetriolo rispetto a cocco, pomice o perlite poste nelle medesime condizioni. Lo studio ha posto in relazione la maggiore incidenza delle infezioni al maggiore contenuto idrico caratteristico della lana di roccia rispetto agli altri substrati, indicando, inoltre, un effetto sulle infezioni dovuto anche alle dimensioni delle lastre di lana di roccia, maggiormente conduttive per il patogeno quando caratterizzate da altezze non superiori a 7 cm (Van der Gaag e Wever, 2005). La contemporanea applicazione di *Fusaria* e *Trichoderma*, selezionati all'interno di sistemi a ciclo chiuso provvisti di filtrazione su sabbia (Wohanka *et al.*, 1995), ha confermato la possibilità di combinar con successo tali tecniche (Garibaldi *et al.*, 2003). Inoltre, lo studio della dinamica di popolazione di *Trichoderma* artificialmente introdotti ha permesso di dimostrare come la densità di popolazione aumenti, particolarmente a livello dello strato superficiale del filtro (porzione tecnicamente definita "filter skin") (Garibaldi *et al.*, 2003), confermando la possibilità di combinare mezzi biologici e sistemi passivi di disinfezione della SN al fine di aumentare la repressività del sistema nel suo complesso e del sistema di filtrazione in particolare (van Os e Postma, 2000). Un più complesso sistema è quello basato sulla contemporanea gestione di diversi fattori: opportuna gestione del pH (5,0-6,2), introduzione di selezionati mezzi biologici (*Pseudomonas chlororaphis*, *P. fluorescens*) e uso di sistemi di disinfezione attivi (UV) sono stati integrati con successo per la lotta a parassiti zoosporici in coltivazioni senza suolo (Tu, 2004). Da ultimo, per riciclare substrati di coltivazione potenzialmente infetti senza, peraltro, ricorrere a mezzi chimici o fisici caratterizzati da un effetto drastico e quindi favorenti fenomeni incontrollabili di "vuoto biologico", un recente lavoro ha indicato il possibile ricorso all'uso di *Muscodora albus*, un microrganismo in grado di produrre sostanze chimiche a basso peso molecolare caratterizzate da efficacia biologica verso diversi microrganismi tra cui *Pythium ultimum*, *Phytophthora cinnamomi*, *Rhizoctonia solani*, *Verticillium dahliae*, aprendo, in tale settore, nuove prospettive (Mercier e Manker, 2005). Guardando, inoltre, al possibile sfruttamento di effetti collaterali di sostanze utilizzate anche come nutrienti, è possibile ricordare che l'impiego di sostanze a base di fosforo, ed in particolare dei fosfiti, si è dimostrato efficace per la lotta a *P. capsici* su peperone (Forster *et al.*, 1998); peraltro proprio l'impiego di sostanze contenenti fosforo ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) addizionate alla SN è stato dimostrato efficace anche per la lotta a parassiti fogliari, in quanto tali prodotti sono capaci di indurre resistenza, ad esempio verso *Sphaerotheca fuliginea* su cetriolo, ma solo con

applicazioni effettuate prima dell'inizio delle infezioni (Reuveni *et al.*, 2000). Similmente, silicati e prodotti a base di Si sono considerati utili per la lotta a parassiti tellurici e fogliari: Cherif e Belanger (1992) hanno dimostrato che il silicato di potassio può limitare le infezioni di *P. ultimum* su cetriolo allevato senza suolo. Risultati promettenti sono stati ottenuti utilizzando silicato di potassio applicato per irrigazione per la riduzione della gravità di *Diplocarpon rosae* su rosa (Gillman *et al.*, 2003) e del mal bianco della fragola (Kanto *et al.*, 2004). L'uso di ammendanti a base di Si aggiunti alla SN per la lotta al mal bianco del cetriolo è apparso, però, negativamente influenzato da temperature ambientali superiori a 25-30 °C (Schuerger e Hammer, 2003). Infine, anche sostanze quali tensioattivi non ionici possono essere considerati di interesse per contenere, in particolare, la diffusione di parassiti zoosporici, potendo, in alcuni casi, essere sfruttati già anche a livello commerciale (De Jonghe *et al.*, 2005).

Conclusioni

La gestione delle alterazioni telluriche delle colture allevate senza suolo deve essere basata su un approccio integrato che consideri non solo le esigenze della coltura, ma anche il mantenimento o la costituzione di una microflora bilanciata e repressiva e che sfrutti, quando possibile, ogni effetto collaterale utile alla limitazione di epidemie. Con tale premessa, operando nella prospettiva di sviluppo di sistemi di coltura sostenibili e non volendo adottare sistemi a ciclo aperto, l'uso di tecniche drastiche di disinfezione delle SN riciclate non in tutte le condizioni può essere considerata l'unica soluzione disponibile.

Bibliografia

- Atmatjidou V.P., Hointink H., 1991. Dissemination and transmission of *Xanthomonas campestris* pv. *begoniae* in an ebb and flow irrigation system. *Plant Dis.*, 75, 1261-1265.
- Berkelmann B., Wohanka W., Krczal G., 1995. Transmission of Pelargonium flower break virus (PFBV) by recirculating nutrient solution with and without slow sand filtration. *Acta Hortic.*, 382, 256-262.
- Borrero C., Ordovas J., Trillas M.I., Avilés M., 2006. Tomato fusarium wilt suppressiveness. The relationship between the

- organic plant growth media and their microbial communities as characterised by biologists. *Soil Biol. Biochem.*, 38, 1631–1637.
- Brand T., Alsanius B.W., 2004. Enzyme activity in nutrient solution of closed hydroponic systems with integrated slow filters. *Acta Hortic.*, 644, 525–531.
- Calvo-Bado L.A., Petch G., Parsons N.R., Morgan J.A.W., Pettitt T.R., Whipps J.M., 2006. Microbial community responses associated with the development of oomycete plant pathogens on tomato roots in soilless growing systems. *J. Appl. Microb.*, 100, 1194–1207.
- Cherif M., Belanger R.R., 1992 Use of potassium silicate amendments in recirculating nutrient solutions to suppress *Pythium ultimum* on long english cucumber. *Plant Dis.*, 76, 1008–1011.
- Clematis F., Minuto A., Gullino M.L., Garibaldi A., 2007. Induced suppressiveness to *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* in perlite and perlite-peat substrates in closed soilless systems. *Phytoparasitica*, 35 (1), 77–85.
- De Jonghe K., De Dobbelaere I., Sarrazyn R., Hofte M., 2005a. Control of brown root rot caused by *Phytophthora cryptogea* in the hydroponic forcing of witloof chicory (*Cichorium intybus* var. *foliosum*) by means of a nonionic surfactant. *Crop Prot.*, 24, 771–778.
- Ehret D.L., Menzies J.G., Helmer T., 2005. Production and quality of greenhouse roses in recirculating nutrient systems. *Scientia Hortic.*, 106, 103–110.
- Folman L.B., De Klein M.J.E.M., Postma J., van Veena J.A., 2004. Production of antifungal compounds by *Lysobacter enzymogenes* isolate 3.1T8 under different conditions in relation to its efficacy as a biocontrol agent of *Pythium aphanidermatum* in cucumber. *Biol. Control*, 31, 145–154.
- Forster H., Adaskaveg J.E., Kim D.H., Stangellini M.E., 1998. Effect of phosphite on tomato and pepper plants on susceptibility of pepper to phytophthora root and crown rot in hydroponic culture. *Plant Dis.*, 82, 1165–1170.
- Fravel D.R., Larkin R.P., 2002. Reduction of Fusarium wilt of hydroponically grown basil by *Fusarium oxysporum* strain CS-20. *Crop Prot.*, 21, 539–543.
- Garibaldi A., Minuto A., Grasso V., Gullino, M.L., 2003. Application of selected antagonistic strains against *Phytophthora cryptogea* on gerbera in closed soilless systems with disinfection by slow sand filtration. *Crop Prot.*, 22, 1053–1061.

- Garibaldi A., Minuto A., Salvi D., 2004. Disinfection of nutrient solution in closed soilless systems in Italy. *Acta Hortic.*, 644, 557-562.
- Gillman J. H. Zlesak D. C. Smith J. A., 2003. Applications of potassium silicate decrease black spot infection in *Rosa hybrida* 'Meipelta' (Fuschia Meidiland™). *HortScience*, 38, 1144-1147.
- Grasso V., Minuto A., Garibaldi A., 2003. Selected microbial strains suppress *Phytophthora cryptogea* in gerbera crops produced in open and closed soilless systems. *Phytop. Med.*, 42, 55-64.
- Gullino M.L., Camponogara A., Gasparrini G., Rizzo V., Clini C., Garibaldi A., 2003. Replacing methyl bromide for soil disinfestation: the Italian experience and the implications for other countries. *Plant Dis.*, 87, 1012-1021.
- Halfeld-Vieira B.A., Nechet K.L., 2006. Black rot in lettuce: a new disease caused by *Ceratocystis fimbriata* in hydroponic culture in Brazil. *Plant Pathol.*, 55, 300.
- Hallmann J., Hänisch D., Brauns mann J., Klenner M., 2005. Plant-parasitic nematodes in soil-less culture systems. *Nematology*, 7, 1-4.
- Jensen D.F., Lumdsen R.D., 1999. Biological control of soilborne pathogens. In: Albajes R., Gullino M.L., Van Lenteren J.C., Elad Y. (eds.), *Integrated pest and diseases management in greenhouse crops*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 319-337.
- Kanto T., Miyoshi A., Ogawa T., Maekawa K., Aino M., 2004. Suppressive effect of potassium silicate on powdery mildew of strawberry in hydroponics. *J. Gen. Plant Pathol.*, 70, 207-211.
- Koohakan P., Ikeda H., Jeanaksorn T., Tojo M., Kusakari S., Okadac K., Sato S., 2004. Evaluation of the indigenous microorganisms in soilless culture: occurrence and quantitative characteristics in the different growing systems. *Scientia Hortic.*, 101, 179-188.
- Martin F.N., 2003. Development of alternative strategies for management of soilborne pathogens currently controlled with methyl bromide. *Ann. Rev. Phyt.*, 42, 325-350.
- Mercier J., Manker D.C., 2005. Biocontrol of soil-borne diseases and plant growth enhancement in greenhouse soilless mix by the volatile-producing fungus *Muscodor albus*. *Crop Prot.*, 24, 355-362.
- Minuto A., Clematis F., Gullino M.L., Garibaldi A., 2007. Induced suppressiveness to *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis lycopersici* in rockwool substrate used in closed soilless systems. *Phytoparasitica*, 35, 77-85.

- Minuto A., Garibaldi A., 1998. Diffusione di *Fusarium oxysporum* f.sp. *cyclaminis* in colture con irrigazione a flusso e riflusso. *Culture Protette*, 27 (supplemento al n. 10), 21-26.
- Minuto A., Minuto G., Bogliolo A., Garibaldi A., 2007. Basilico fuori suolo: una reale alternativa alla coltivazione tradizionale nelle piccole aziende. Atti Incontri Fitoiatrici 2007 "Problemi fitosanitari delle colture ortoflorofrutticole ed evoluzione delle strategie di difesa", Torino 28 febbraio – 2 marzo, 104.
- Paludan N., 1985. Spread of viruses by recirculated nutrient solutions in soilless cultures. *Tidsskr. Planteavl.*, 89, 467 - 474.
- Park W.M., Leeb G.P., Ryua K.H., Park K.W., 1999. Transmission of tobacco mosaic virus in recirculating hydroponic system. *Scientia Hort.*, 79, 21-22.
- Pharand B., Carisse O., Benhamou N., 2002. Cytological aspects of compost-mediated induced resistance against *Fusarium* crown and root rot in tomato. *Phytopathology*, 92, 424-438.
- Postma J., 2004. Suppressiveness of root pathogens in closed cultivation systems. *Acta Hort.*, 644, 503-510.
- Postma J., Willemsen-de Klein M., van Elsas J.D., 2000. Effect of the indigenous microflora on the development of root and crown rot caused by *Pythium aphanidermatum* in cucumber grown on rockwool. *Phytopathology*, 90, 125-133.
- Rattink H., 1990. Epidemiology of *Fusarium* wilt in cyclamen in an ebb and flow system. *Neth. J. Plant Pathol.*, 96, 171-177.
- Raviv M., Oka Y., Katan J., Hadar Y., Anat Y., Shlomit M., Krasnovsky A., Ziadna H., 2005. High-nitrogen compost as a medium for organic container-grown crops. *Bior. Technol.*, 96, 419-427.
- Reuveni R., Dor G., Raviv M., Reuveni M., Tuzun S., 2000. Systemic resistance against *Sphaeroteca fuliginea* in cucumber plants exposed to phosphate in hydroponics system and its control by foliar spray of mono-potassium phosphate. *Crop Prot.*, 19, 355-361.
- Runia W.Th., Amsing J.J., 2000. Selectieve verhitting recirculatiewater bespaart energie. *Groenten Fruit Glasgroenten*, 25, 34-35.
- Runia W.T., 1994. Elimination of root infecting pathogens in recirculation water from closed cultivation system by ultra violet radiation. *Acta Hort.*, 316, 361-372.
- Runia W.T., Boonstra S., 2004. UV-oxydation technology for disinfection of recirculation water in protected cultivation. *Acta Hort.*, 644, 549-555.

- Sabaratnam S., Traquair J.A., 2002. Formulation of a *Streptomyces* biocontrol agent for the suppression of *Rhizoctonia* damping-off in tomato transplants. *Biol. Control*, 23, 245-253.
- Sanogo S., Moorman G.W., 1993. Transmission and control of *Pythium aphanidermatum* in an ebb-and-flow subirrigation system. *Plant Dis.*, 77, 287-290.
- Santamaria P., Campanile G., Parente A., Elia, A., 2003. Subirrigation vs. drip-irrigation: effects on yield and quality of soilless grown cherry tomato. *J. Hortic. Sci. Biotech.*, 78, 290-296.
- Schuenger A.C., Hammer W., 2003. Suppression of powdery mildew on greenhouse-grown cucumber by addition of silicon to hydroponic nutrient solution is inhibited at high temperature. *Plant Dis.*, 87, 177-185.
- Schwartz D., Grosch R., Gross W., 2004. Water quality for hydroponics: nutrients, bacteria and algae in rainwater ponds. *Acta Hortic.*, 644, 533-539.
- Slusarski C., 2000. The use of disinfectants for controlling a soilborne foot and root rot disease complex on greenhouse tomatoes in the rockwool open culture system. *Acta Hortic.*, 532, 217-221.
- Stangellini M.E., Miller R.M., 1997. Biosurfactants. Their identity and potential efficacy in the biological control of zoosporic plant pathogens. *Plant Dis.*, 81, 4-12.
- Stangellini R., Tomlinson A., 1987. Inhibitory and lytic effects of a nonionic surfactant on various asexual stages in the life cycle of *Pythium* and *Phytophthora* species. *Phytopathology*, 77, 112-114.
- Stanghellini M., Nielsen C., Kim D., Rasmussen S., Rorbaugh A., 2000. Influence of sub versus top irrigation and surfactants in a recirculating system on disease incidence caused by *Phytophthora* spp. in potted pepper plants. *Plant Dis.*, 85, 1147-1150.
- Stanghellini M.E., Rasmussen S.L., 1994. Hydroponics. A solution for zoosporic plant pathogens. *Plant Dis.*, 78, 1129-1138.
- Thinggaard K., Andresen H., 1995. Influence of watering frequency and electrical conductivity of the nutrient solution on *Phytophthora* root rot in pot plants of gerbera. *Plant Dis.*, 79, 259-263.
- Tognoni F., Serra G., 1994. New technologies for protected cultivations to face environmental constraints and to meet consumer's requirements. *Acta Hortic.*, 361, 31-38.

- Tomlinson J. A., Faithfull E.M., 1981. Studies on the control of lettuce big vein disease in recirculated nutrient solution. *Acta Hortic.*, 98, 325-331.
- Tu J.C., Papadopoulos A.P., Hao X., Zheng J., 1999. The relationship of a *Pythium* root rot and rhizosphere microorganisms in a closed circulating and an open system in rockwool culture of tomato. *Acta Hortic.*, 481, 577-583.
- Tu J.C., 2004. An integrated control measure for *Pythium* root rot of hydroponically grow greenhouse cucumber. *Acta Hortic.*, 644, 571-574.
- Tu J.C., Zhang W.Z., 2000. Comparison of heat, sonication and ultraviolet irradiation in eliminating *Pythium aphanidermatum* zoospores in recirculating nutrient solution. *Acta Hortic.*, 532, 137-142.
- Van der Gaag D.J., Wever G., 2005. Conduciveness of different soilless growing media to *Pythium* root and crown rot of cucumber under near-commercial conditions. *Europ. J. Plant Pathol.*, 112, 31-41.
- Van Os E., Wohanka W., Bruins M.A., Seidel R., 2003. Disinfezione delle soluzioni nutritive in sistemi fuori suolo a ciclo chiuso. *Informatore Fitopat. - La Difesa delle Piante*, 53 (3), 30-34.
- Van Os E.A., Postma J., 2000. Prevention of root diseases in closed soilless growing systems by microbial optimisation and slow sand filtration. *Acta Hortic.*, 532, 97-112.
- Van Os E.A., Wohanka W., Bruins M.A., Seidel R., 2000. Slow filtration: a technique to minimise the risks of spreading root-infecting pathogens in closed hydroponic systems. *Acta Hortic.*, 559, 495-502.
- Van Os, E.A., Bruins M.A., Van Buuren J., Van der Veer D.J., Willers H., 1997. Physical and chemical measurements in slow sand filters to disinfect recirculating nutrient solutions. *Proceedings 9th Int. Congress on Soilless Culture, Jersey*, 313-328.
- Vankuik A.J., 1994. Eliminating *Phytophthora cinnamomi* in a recirculated irrigation system by slow sand filtration. *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent* 59/3a, 1059-1063.
- Wohanka W., 1995. Disinfection of recirculating nutrient solutions by slow sand filtration, *Acta Hortic.*, 382, 246-255.
- Wohanka W., Seidel R., 2004. Disinfection of recirculated nutrient solution and consequences to the non-pathogenic microflora. *Acta Hortic.*, 644, 541-547.
- Yu J.Q., Komada H., 1999. Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) bark, a substrate with anti-pathogen properties that suppress some root diseases of tomato. *Scientia Hortic.*, 81, 13-24.

Ringraziamenti

Lavoro svolto con il supporto del Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca nell'ambito del progetto "Aspetti fisiologici e tecnologici della nutrizione minerale di piante ortive coltivate fuori suolo con sistemi a ciclo chiuso e ricadute sullo stato fitosanitario delle colture" (DM n. 287 del 23 febbraio 2005 - Progetti di ricerca di interesse nazionale 2005).

Appendice fotografica



Basilico allevato con la tecnica della subirrigazione su pavimento.

- I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso -



Basilico allevato con la tecnica dei pannelli galleggianti.



Basilico allevato con la tecnica del flusso-riflusso.

- I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso -



Pomodoro cv Cuore di Bue allevato con la tecnica dei film di nutrienti (NFT).

- I sistemi di allevamento in vaso con subirrigazione a ciclo chiuso -



Alterazioni basali e radicali causate da infezioni di *Fusarium oxysporum* f.sp.*radicis lycopersici* su pomodoro allevato in fuori suolo.

Indice

Il ciclo da chiudere

(P. Santamaria)7

La subirrigazione delle colture in contenitore

(F. Montesano, P. Santamaria, F. Serio, A. Signore) 17

La subirrigazione in canaletta

(A. Parente, P. Santamaria, F. Serio)31

La gestione della fertilizzazione nei sistemi con

subirrigazione

(M. van Iersel)53

Un esempio di applicazione della subirrigazione in canaletta

(A. Parente, F. Serio, R. Cianfarra) 67

La subirrigazione in vaso con acque di scarsa qualità

(L. Incrocci, R. Pulizzi, A. Pardossi) 85

Problemi fitosanitari e prospettive di difesa nelle coltivazioni

senza suolo a ciclo chiuso

(A. Minuto, A. Garibaldi) 105

Lista degli autori

Angelo PARENTE, Francesco SERIO, Francesco MONTESANO

Istituto di Scienze delle Produzioni Alimentari - CNR Bari

Via Amendola, 122/O - 70126 Bari (BA) - Italia

E-mail

angelo.parente@ispa.cnr.it

francesco.serio@ispa.cnr.it

francesco.montesano@ispa.cnr.it

Pietro SANTAMARIA, Angelo SIGNORE

Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali - Università di Bari

Via Amendola 165/A - 70126 Bari (BA) - Italia

E-mail

santamap@agr.uniba.it

angelo.signore@agr.uniba.it

Luca INCROCCI, Alberto PARDOSSI, Riccardo PULIZZI

Dipartimento Biologia delle Piante Agrarie - Università di Pisa

Viale delle Piagge, 23 - 56124 Pisa (PI) - Italia

E-mail

incrocci@agr.unipi.it

alberto.pardossi@agr.unipi.it

Marc VAN IERSEL

Department of Horticulture, The University of Georgia, 1111 Miller Plant Sciences Building,

GA 30602-7273, Athens, USA

E-mail

mvanier@uga.edu

Andrea MINUTO, Angelo GARIBALDI

Centro di Competenza per l'Innovazione in Campo Agro-ambientale (AGROINNOVA)

Via L. Da Vinci, 44 - 10095 Grugliasco (TO) - Italia

Rita CIANFARRA

ARSSA - Unità Territoriale Operativa Lanciano

Via del Mare, 48 - 66034 Lanciano (CH) - Italia

Email

rcianfarra@arssa.abruzzo.it

AREE SCIENTIFICO-DISCIPLINARI

Area 01 – Scienze matematiche e informatiche

Area 02 – Scienze fisiche

Area 03 – Scienze chimiche

Area 04 – Scienze della terra

Area 05 – Scienze biologiche

Area 06 – Scienze mediche

Area 07 – Scienze agrarie e veterinarie

Area 08 – Ingegneria civile e Architettura

Area 09 – Ingegneria industriale e dell'informazione

Area 10 – Scienze dell'antichità, filologico-letterarie e storico-artistiche

Area 11 – Scienze storiche, filosofiche, pedagogiche e psicologiche

Area 12 – Scienze giuridiche

Area 13 – Scienze economiche e statistiche

Area 14 – Scienze politiche e sociali

Le pubblicazioni di Aracne editrice sono su

www.aracneeditrice.it

Finito di stampare nel mese di agosto del 2012
dalla «ERMES. Servizi Editoriali Integrati S.r.l.»
00040 Ariccia (RM) – via Quarto Negroni, 15
per conto della «Aracne editrice S.r.l.» di Roma